

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Gravitační modely pro leteckou dopravu

Gravity models for Air Transportation

Student: David Mičulka

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Dušan Teichmann, Ph.D.

## Zadání bakalářské práce

Student: **David Mičulka**

Studijní program: B3712 Technologie letecké dopravy

Studijní obor: 3708R037 Technologie provozu letecké techniky

Téma: **Gravitační modely pro leteckou dopravu**  
**Gravity Models for Air Transportation**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

**Cíl práce:**

Provést analýzu základních gravitačních modelů vhodných pro leteckou dopravu a aplikovat vybrané modely na konkrétní relaci.

**Osnova práce:**

1. Úvod.
2. Význam gravitačních modelů pro dopravní praxi a jejich obecná charakteristika.
3. Analýza existujících gravitačních modelů sestavených pro leteckou dopravu.
4. Analýzy dostupných dat a výběr nejvhodnějšího typu gravitačního modelu.
5. Aplikace vybraného gravitačního modelu na zadanou relaci.
6. Zhodnocení výsledků.
7. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

Grosche, T.; Rothlauf, F.; Heinzl, A.: Gravity models for airline passenger volume estimation. In Journal of Air Transport Management, 2007(13), s. 175 - 183. ISSN 0969-6997.  
Zhang, Y.; Lin, F.; Zhang, A.: Gravity models in air transport research: A survey and an application. In Handbook of International Trade and Transportation. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 679 s. ISBN 978-1-78536-614-7.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Dušan Teichmann, Ph.D.**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020



---

prof. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.  
*vedoucí katedry*



---

prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
*děkan fakulty*

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 18. 5. 2020

David Michlba

Rád bych poděkoval vedoucímu doc. Ing. Dušanovi Teichmannovi, Ph.D., za cenné rady a vedení v průběhu vypracování bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat mému otci, Ing. Petru Mičulkovi, který mi byl nápomocen při tvorbě bakalářské práce, a zároveň mi byla inspirací jeho diplomová práce s názvem *Prognóza vývoje dopravy v Ostravě do roku 2000* (VŠDS Žilina, 1986).

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на ве́домі́, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 18. 5. 2020

Podpis autora práce 

Jméno a příjmení autora práce: David Mičulka

Adresa trvalého pobytu autora práce: Husova 552, Náměšť nad Oslavou, 67571

## Anotace

Mičulka, D., *Gravitační modely pro leteckou dopravu*, Ostrava: Institut dopravy, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2020, Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Dušan Teichmann, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá existujícími gravitačními modely aplikovanými v letecké dopravě sloužících pro odhad poptávky cestujících. V teoretické části se zabývám analýzou gravitačních modelů a jejich rozdílnostmi, v praktické části aplikuji vybraný gravitační model na konkrétní letiště a stanovuji výhledový objem počtu cestujících na zadané relaci.

Klíčová slova: gravitační model, letecká doprava, poptávka

## Annotation

Mičulka, D., *Gravity Models for Air Transportation*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2020. Thesis head: doc. Ing. Dušan Teichmann, Ph.D.

The bachelor thesis deals with existing gravity models applied in air transport for estimation of passenger demand. In the theoretical part I deal with the analysis of gravity models and their differences, in the practical part I apply the selected gravity model to a specific airport and determine the prospective volume of passengers on a given session.

Key Words: Gravity model, Air Transportation, Demand

## Seznam použitých zkratk a symbolů

ALI	Air Liberalisation Index
BSP	Billing and Settlement Plan
ICAO	International Civil Aviation Organization
IATA	International Air Transport Association
MIDT	Market Information Data Tapes
NUTS	Nomenclature of Territorial Units for Statistics
OAG	Official Aviation Guide
PPML	Poisson Pseudo-Maximum Likelihood



# Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů .....	8
Úvod .....	10
Cíle bakalářské práce .....	11
1. Obecná charakteristika gravitačního modelu .....	12
2. Aplikace gravitačního modelu v dopravní praxi .....	13
2.1. Matice prostorové interakce.....	14
2.2. Modelování prostorové interakce .....	15
2.3. Modelování prostorové interakce gravitačním modelem .....	17
2.4. Metoda nejmenších čtverců .....	18
2.5. Doplněk Řešitel v Microsoft Excelu.....	18
3. Analýza existujících gravitačních modelů sestavených pro leteckou dopravu .....	23
3.1. Proměnné v gravitačním modelu.....	27
3.2. Základní gravitační model .....	27
3.3. Rozšířený gravitační model .....	28
3.4. Aplikace gravitačního modelu pro čínský trh.....	29
4. Analýza dostupných dat a výběr nejvhodnějšího typu gravitačního modelu .....	34
5. Aplikace vybraného gravitačního modelu na zadanou relaci.....	42
5.1. Výpočty s gravitačním modelem 1 .....	44
5.2. Aplikace Gravitačního modelu 2 .....	53
6. Zhodnocení výsledků .....	60
6.1. Vývoj počtu odbavených cestujících na letištích .....	60
Závěr .....	62
Použitá literatura a zdroje .....	63
Seznam obrázků a tabulek .....	66

## Úvod

Pro svoji bakalářskou práci jsem si vybral téma gravitačních modelů. Slouží ke zjištění poptávky cestujících po letecké dopravě. Je to jeden z nástrojů leteckých společností, který jim usnadňuje rozhodovací proces při zavádění nové linky (relace), nebo ho využívají při posílení či oslabení frekvence stávající linky. Vysvětluje závislost počtu cestujících mezi dvěma stanovenými body na vzdálenosti obou míst, době přepravy a dalších faktorech.

Modelováním (neboli nástrojem pro dopravní plánování, zjednodušením vybrané části reálného světa) se rozumí prognóza (vývoj) z dostupných dat, které jsou odvozeny na základě zákonitostí (analogie Newtonova gravitačního zákona, proto se jí také říká „Metoda přitažlivosti“), a pro které odvozují údaje o přepravní aktivitě celku. Parametry v modelu mají svoji kalibrační konstantu, kterou když zjistíme, tak budeme moci předpovídat a testovat přepravní chování do budoucna.

Aplikací gravitačních modelů na leteckou dopravu se zabývají především zahraniční autoři, proto jsem čerpal informace převážně z cizojazyčných zdrojů.

Téma gravitačních modelů jsem si vybral z důvodu odlišností a různorodostí stávajícího zkoumání. V podstatě zde neexistuje jednoznačný přístup, který by danou problematiku charakterizoval. Každý z autorů, který popisoval a aplikoval gravitační model na leteckou dopravu, měl jinou strukturu a proměnné ve vzorci.

## **Cíle bakalářské práce**

Charakterizovat gravitační modely a jejich aplikaci v letecké dopravě. Představit různé modely vyskytující se v odvětví a popsat proměnné, které utváří odlišnosti mezi jednotlivými modely. Na základě analýzy dat a jednotlivých proměnných vybrat gravitační model a poté aplikovat na zadanou relaci.

## 1. Obecná charakteristika gravitačního modelu

Gravitační model popisuje přepravní vztah mezi zeměmi (městy, oblastmi). Vznikl analogicky k Newtonovu gravitačnímu zákonu (1687), který popisoval přitažlivou sílu mezi dvěma tělesy. Má tvar:

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

kde  $G$  = gravitační konstanta,

$m_{1,2}$  = hmotnosti těles,

$r$  = vzdálenost těles.<sup>1</sup>

Gravitační modely mají široké využití, např. odhad toku zboží, služeb a osob mezi dvěma lokalitami. Právě k analýze mezinárodního toku zboží byly modely hojně využívány. Věnovali se tomu např. Tinbergen (1962), Baier – Bergstrand (2007), Anderson – van Wincoop (2003).

V dopravní praxi vyjadřuje gravitační model hodnotu přepravního vztahu. Jako výsledná veličina se bere počet osob, které jsou přepravovány mezi dvěma oblastmi.

Pro modelování prostorové interakce má vzorec tvar<sup>2</sup>:

$$V_{ij} = k \cdot \frac{(A_i A_j)^\alpha}{d_{ij}^\gamma}$$

kde  $V_{ij}$  = počet přepravovaných osob

$k$  = konstanta,

$A_{i,j}$  = faktory atraktivnosti oblastí  $i, j$ ,

$d_{ij}$  = vzdálenost mezi oblastmi,

---

<sup>1</sup> HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER. *Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. Brno: VUTIUM, 2000. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 80-214-1869-9.

<sup>2</sup> Grosche, T.; Rothlauf, F.; Heinzl, A.: *Gravity models for airline passenger volume estimation*. In Journal of Air Transport Management, 2007(13), s. 175 - 183. ISSN 0969-6997

$\gamma$  = parametr řídící vliv vzdálenosti na poptávce po přepravě,

$\alpha$  = parametr řídící vliv faktorů atraktivnosti.

Dá se tedy říct, že „distribuce dopravní produkce zóny i do zóny j je přímo úměrná atraktivitě zóny i a nepřímo úměrná vzdálenosti mezi zónami i a j.“<sup>3</sup> Výsledkem aplikace modelu na odhad přepravy je tzv. O-D matice (Origin – Destination, neboli Zdroj – Cíl cesty). Ta je buď analogická, nebo syntetická. Analogická používá matici z předchozího období, když na ní nedošlo k zásadní změně v přepravním vztahu. Syntetická matice je nově vytvořená (změna přepravního vztahu). Při vytváření nové syntetické matice a distribuce cest přepravního proudu se často používá právě gravitační model.

Model se používá v širokém dopravním spektru – od silniční a nákladní dopravy, přes železniční dopravu až po leteckou dopravu.

## 2. Aplikace gravitačního modelu v dopravní praxi

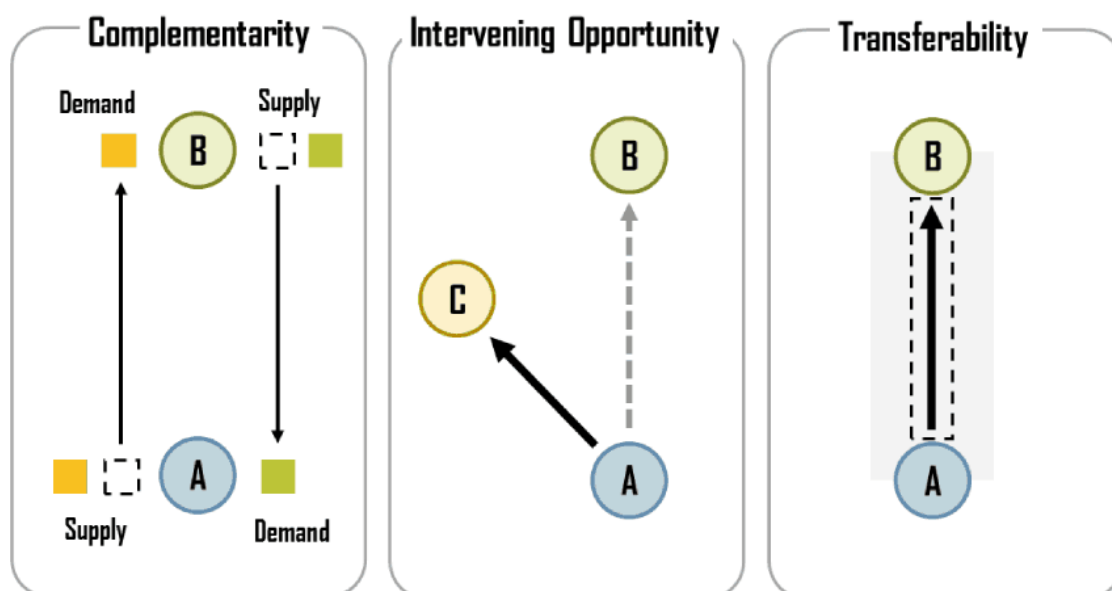
Dr. Jean Paul Rodrigue, univerzitní profesor z Kanady, využil gravitační modely pro výpočet prostorové interakce. Svůj výzkum popsal v knize *The Geography of Transport Systems*, kapitole *Methods in Transport Geography*, kapitole *Spatial Interactions and the Gravity Model*. Prostorovou interakci popisuje jako schopnost osob při přepravě mezi dvěma místy. Popisuje tři nezávislé podmínky pro vznik prostorové interakce:

- 1) Doplnkovost (Complementarity) – mezi lokalitami musí být nabídka a poptávka.
- 2) Princip vedlejší příležitosti, konkurence (Intervening Opportunity) – soupeření více lokalit mezi sebou z hlediska lepší nabídky
- 3) Dostupnost (Transferability) – náležité spojení obou míst (silniční, železniční, lodní, letecké) – musí existovat. Finanční náklady na překonání vzdálenosti nesmí převyšovat výhody dané interakce, i když zde neexistuje alternativa.

Tyto podmínky graficky znázorňuje obrázek č. 1.

---

<sup>3</sup> ONDRÁČKOVÁ, Jitka, Petr HOFHANSL, Zdeněk MELZER, Jiří DUFEK, Jan VOLEK, Jakub VALTA, Roman ČAMPULA a Marek TÖGEL. *Metodika pro tvorbu a hodnocení makroskopických dopravních modelů: minimální standardy návrhů modelů pro dopravní plánování*. Brno: Centrum dopravního výzkumu, 2017. ISBN 978-80-88074-52-6



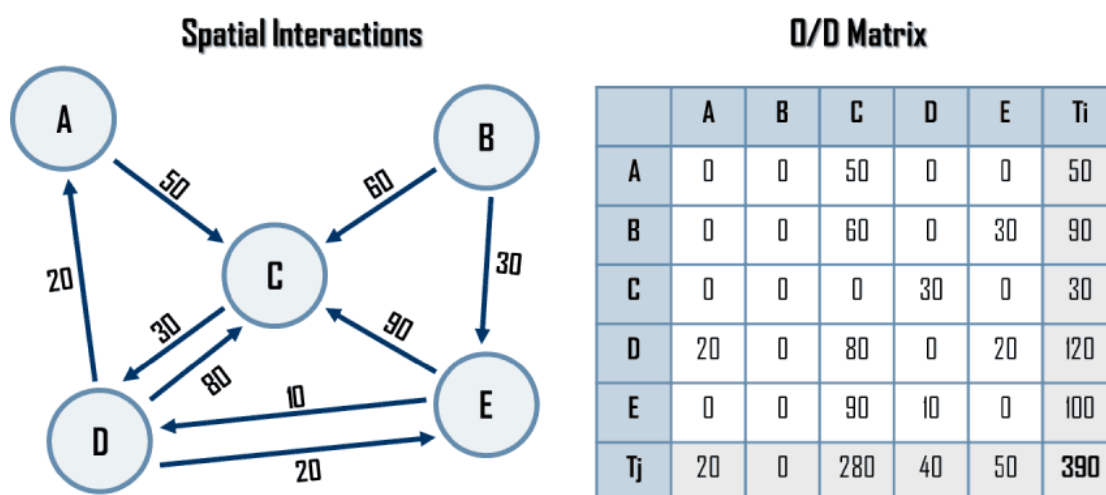
Obrázek 1 - Podmínky prostorové interakce

zdroj: [https://transportgeography.org/?page\\_id=8578](https://transportgeography.org/?page_id=8578)

## 2.1. Matice prostorové interakce

Matice prostorové interakce představuje znázornění toku mezi jednotlivými oblastmi.

Obrázek č. 2 graficky znázorňuje tuto matici.



Obrázek 2 - Matice prostorové interakce

zdroj: [https://transportgeography.org/?page\\_id=8589](https://transportgeography.org/?page_id=8589)

Řádky matice představují počáteční destinace, sloupce matice představují koncové destinace. Řádkové součty prvků matice prostorové interakce ( $T_i$ ) představují toky

vystupující z počátečních destinací, sloupcové součty prvků matice prostorové interakce ( $T_j$ ) představují toky vstupující do koncových destinací. Platí, že:

$$\sum_i T_i = \sum_j T_j$$

Matice prostorové interakce není vhodné používat při více mezi sebou propojených počátečních a koncových destinacích, protože zde vzniká velké množství kombinací a matice se stává nepřehlednou.

Matice zahrnuje výstupy z dopravního přepravního průzkumu a poskytuje informace pro skutečnou dopravní nabídku.<sup>4</sup>

## 2.2. Modelování prostorové interakce

Dle Rodrigueho jsou základním předpokladem pro modelování prostorové interakce následující parametry:

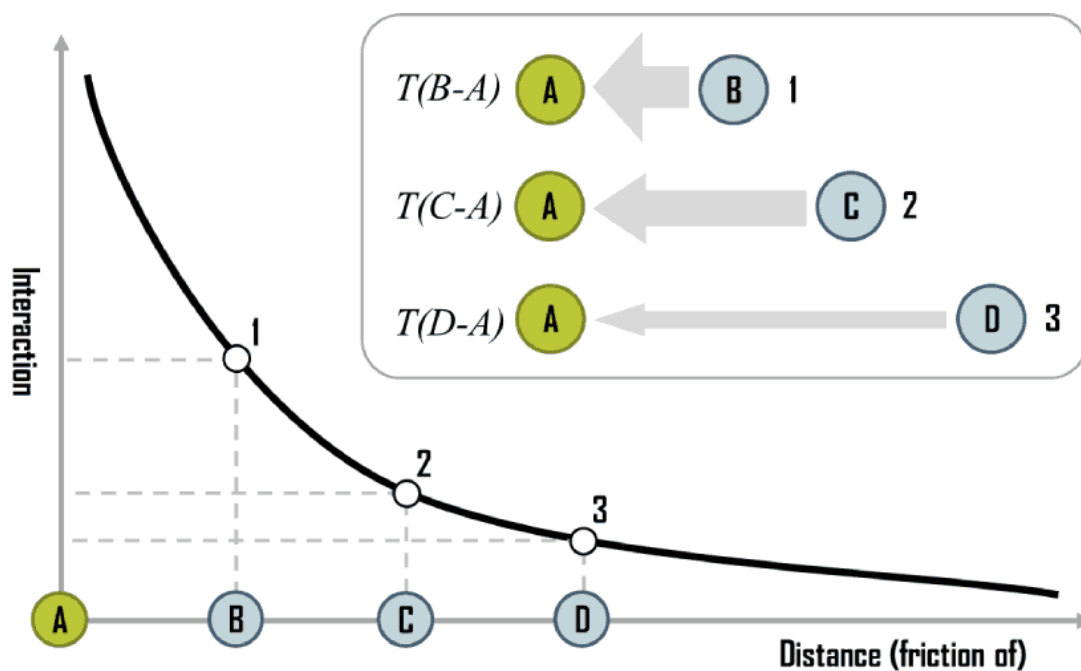
- 1) Všechny atributy počáteční destinace ( $V_i$ ) – populace, počet pracovních míst, hrubý domácí produkt, průmyslová výroba
- 2) Všechny atributy cílové destinace ( $W_j$ )
- 3) Tzv. „Friction of distance“ ( $S_{ij}$ ) – neboli vliv vzdálenosti – větší vzdálenost představuje menší prostorovou interakci a naopak. (Vzdálenost, cena přepravy, čas přepravy). Jedná se o funkci „dopravního odporu“, zahrnující údaje o dopravní náročnosti při překonávání dané trasy. Jedná se například o časové překonání vzdálenosti, náklady na cestu a významnost trasy.<sup>5</sup> Výsledný model je tedy funkcí následujících parametrů.

Následující obrázek popisuje závislost vzdálenosti na velikosti prostorové interakce. Větší vzdálenost znamená menší míru prostorové interakce a naopak.

---

<sup>4</sup> Lorenz, F. *Metody pro tvorbu OD matic: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2011, 54 s. Vedoucí práce: Teichmann, D.

<sup>5</sup> <https://www.cdv.cz/file/metodika-pro-tvorbu-a-hodnoceni-makroskopickych-dopravnich-modelu/>



Obrázek 3 - Vztah mezi vzdáleností a interakcemi

zdroj: [https://transportgeography.org/?page\\_id=8565#jp-carousel-8616](https://transportgeography.org/?page_id=8565#jp-carousel-8616)

Napsáno vzorcem:

$$T_{ij} = f(V_i, W_j, S_{ij})$$

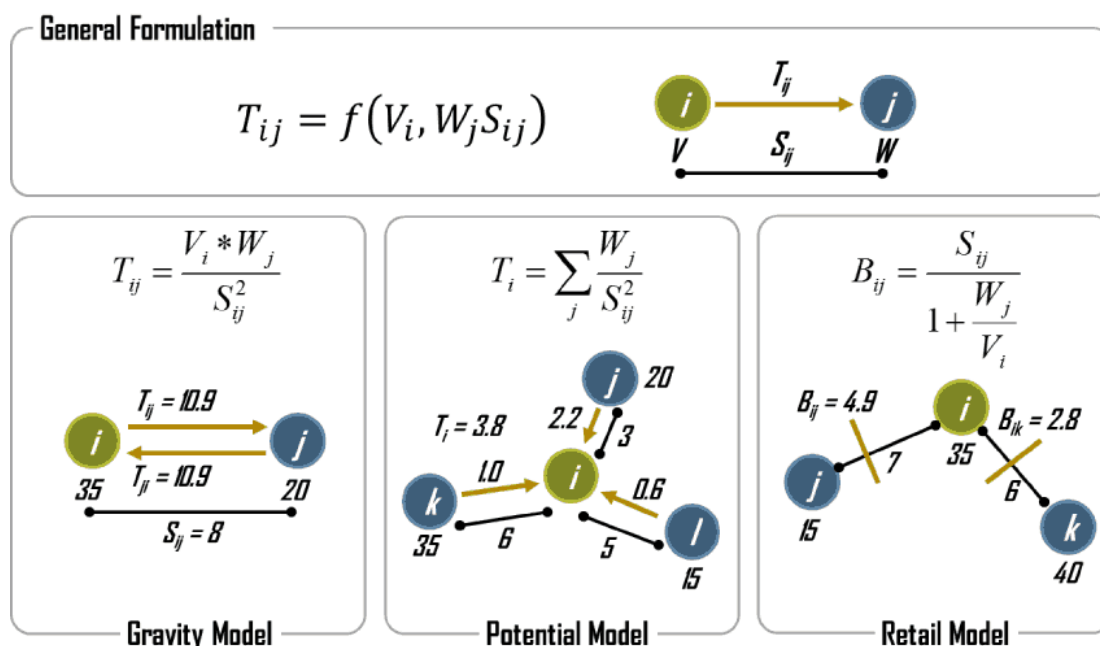
kde  $T_{ij}$  = výsledek prostorové interakce – počet lidí, nákladu za určitý čas.

Modelovat prostorovou interakci lze třemi typy modelů:

- 1) gravitačním modelem – počítá s interakcemi mezi všemi možnými páry.
- 2) potenciálním modelem – interakce mezi jedním městem a ostatními
- 3) maloobchodním modelem – měří hranici tržních oblastí mezi dvěma místy konkurujícími na stejném trhu na základě intenzity jejich příslušných interakcí.

Následující obrázek popisuje jednotlivé typy modelů.





Obrázek 4 - Modelování prostorové interakce různými způsoby

zdroj: [https://transportgeography.org/?page\\_id=8565#jp-carousel-8594](https://transportgeography.org/?page_id=8565#jp-carousel-8594)

## 2.3. Modelování prostorové interakce gravitačním modelem

Obecný postup při tvorbě gravitačního modelu je následující:

- identifikace maximálního množství údajů o přepravě – nejlépe pozorováním (např. sčítání dopravy), v případě nemožnosti pozorování na základě např. údajů z daných statistických institucí. Čím více vstupních údajů bude k dispozici, tím více bude model přesnější,
- zjištění údajů o proměnných dosazovaných do gravitačního modelu,
- volba počátečních hodnot kalibračních konstant (např. 1) a identifikace odchylek teoretických hodnot od hodnot skutečných
- odhad kalibračních konstant s využitím doplňkem Řešitel v MS Excel.

Příklad gravitačního modelu:

$$T_{ij} = k \cdot \frac{P_i^\lambda P_j^\alpha}{d_{ij}^\beta}$$

$P_{i,j}$  ... koeficienty atraktivity (důležitosti) míst  $i, j$

$d_{ij}$  ... vzdálenost mezi místy,  $k$  – časová konstanta, pro delší čas je hodnota  $k$  větší.

$\lambda$  ... koeficient emitivity (potenciál místa  $i$  generovat pohyb odvozený např. z průměrné výše příjmů v místě  $i$ ),

$\alpha$  ... koeficient atraktivity (potenciál místa  $j$  přitahovat pohyby odvozený např. z nabídky služeb v místě  $j$ ),

$\beta$  ... koeficient efektivity (jeho hodnota vyjadřuje rychlost nebo intenzitu dopravního propojení míst  $i$  a  $j$ ). S rostoucí rychlostí a intenzitou spojení hodnota koeficientu klesá.

Kalibrace parametrů zajišťuje, že se hodnoty vypočítané v modelu budou co nejvíce podobat skutečným pozorováním. Je těžké počítat kalibrační konstanty bez možností porovnání skutečných hodnot s hodnotami vypočítanými. V této bakalářské práci bude pro kalibraci modelu využita metoda nejmenších čtverců.

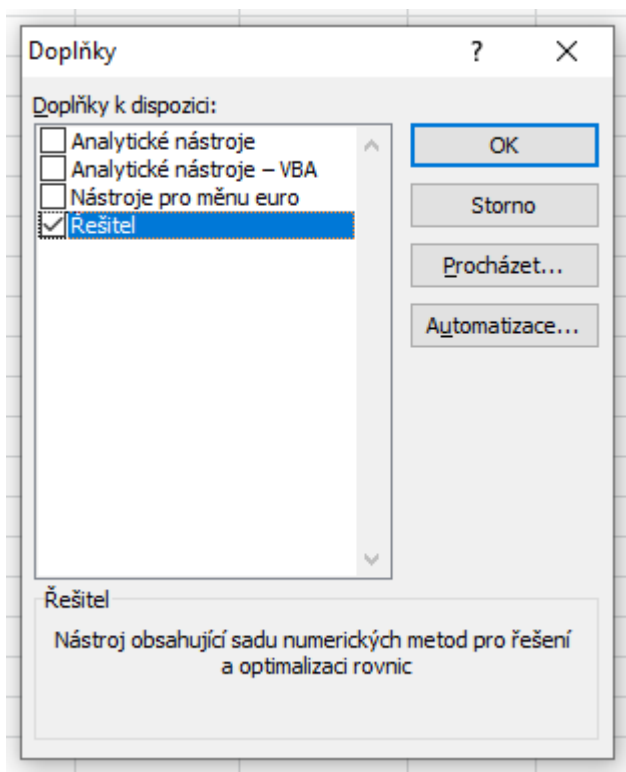
## 2.4. Metoda nejmenších čtverců

Je to metoda určená k aproximaci soustav rovnic, kde je více rovnic, než neznámých. Řešení minimalizuje součet čtverců odchylek vůči každé rovnici. V tomto případě ji využijeme při hledání kalibračních konstant pro gravitační model, kde máme k dispozici data o cca 50 pravidelných relacích (50 soustav rovnic), a výstupem bude optimální hodnota 2 – 4 konstant pro zadaný model.

## 2.5. Doplněk Řešitel v Microsoft Excelu

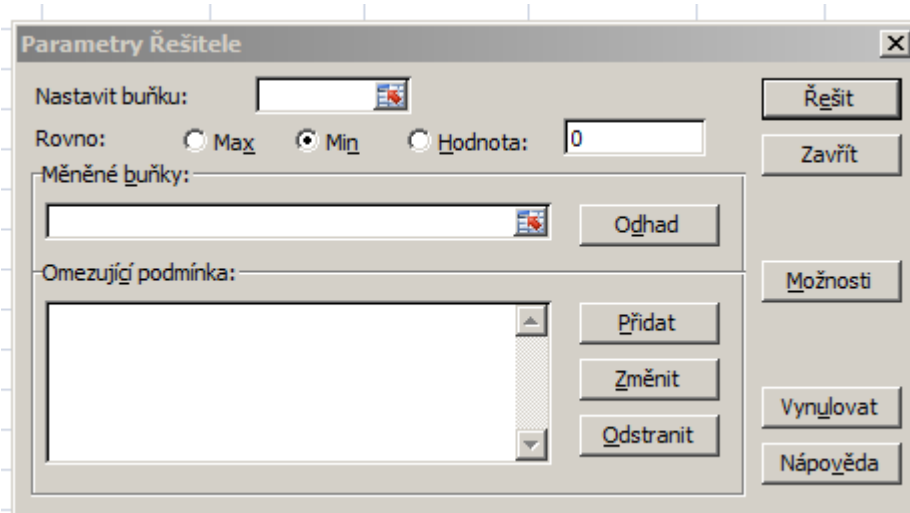
Doplněk Řešitel je instalován na záložce Data v sekci Analýza dat. Pokud není na uvedené záložce instalován, je třeba jeho instalaci provést.

Instalace doplňku Řešitel: Soubor – Možnosti – Doplňky – v okně spravovat: Doplňky aplikace Excel – Přejít se ocitnu v dialogovém okně:



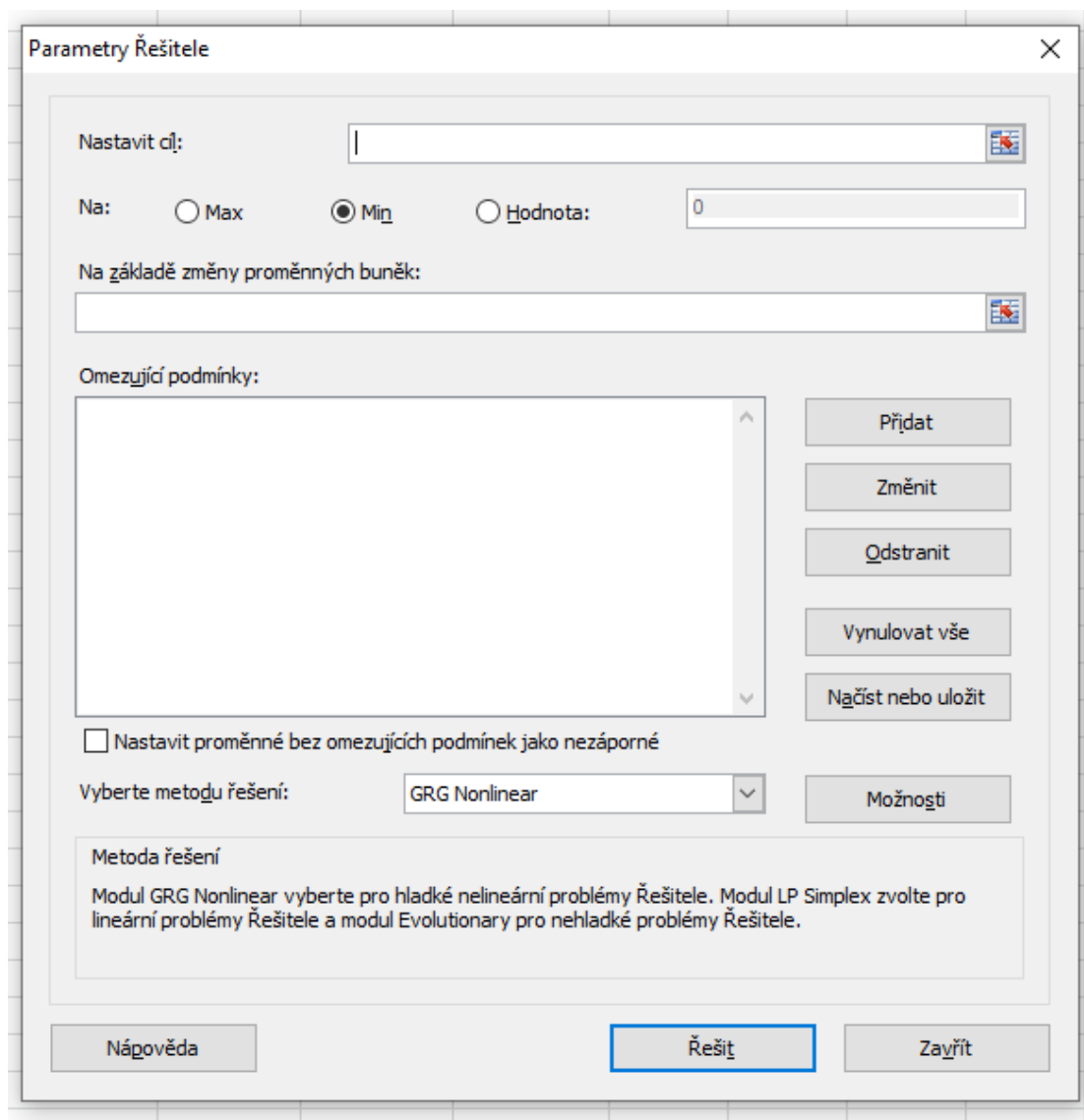
Obrázek 5 - po kliknutí na OK se mi Řešitel objeví na kartě Analýza v záložce Data

Zdroj: vlastní



Obrázek 6 - Dialogové okno Řešitele v MS Excel 2007

Zdroj: vlastní



Obrázek 7 - Dialogové okno Řešitele v MS Excel 2010

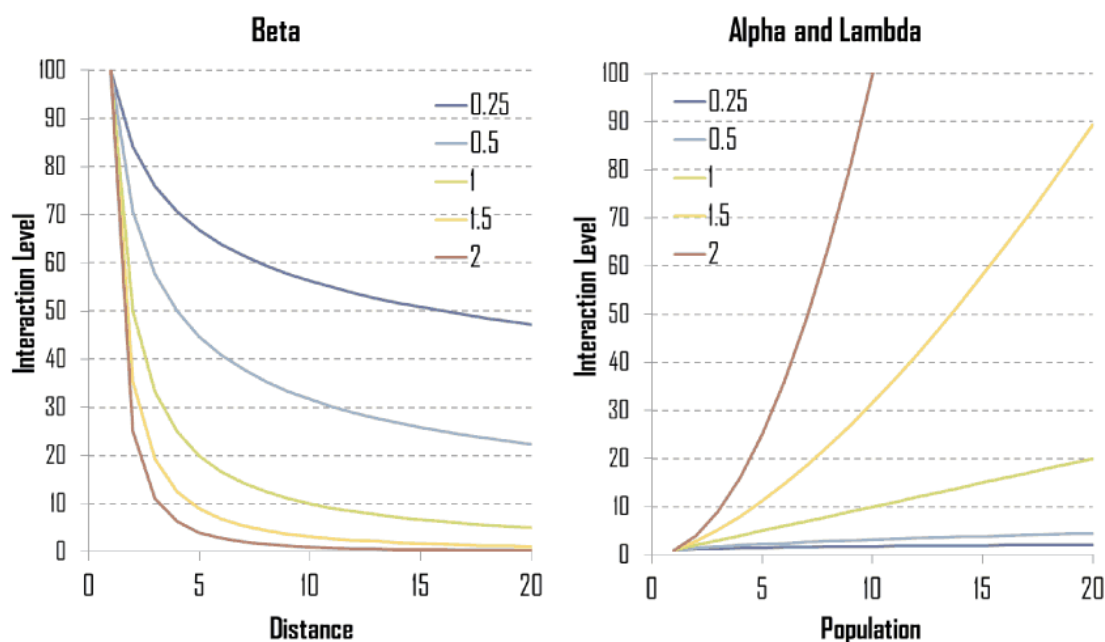
Zdroj: vlastní

Při výpočtu parametrů postupuji následovně:

- 1) do okna *Nastavit buňku* se zadá buňka listu odkazující na součet chyb nejmenších čtverců odchylek. Buňka musí obsahovat odkaz na vzorec, který provedl danou výpočetní operaci,
- 2) v řádku *Rovno:* nastavím hodnotu *Min*, protože je hledána nejmenší hodnota čtverců odchylek naměřených dat od hodnot, kterými prochází daná regresní křivka,

- 3) do pole *Měněné buňky*: se nastaví odkazy na buňky, které odkazují na parametry daného modelu, které se výpočtem změní (dané buňky musí být pevně zafixované v dané syntaxi vzorce),
- 4) v případě existence omezujících podmínek pro dané parametry, se tyto podmínky nastaví v poli *Omezující podmínka*..
- 5) po zadání všech potřebných vstupních informací je možno zahájit výpočet s využitím tlačítka *Řešit*, a Řešitel najde optimální řešení vyhovující pro zadaný model.

Praktickou ukázkou doplnku řešitel uvádím v závěrečné části práce.

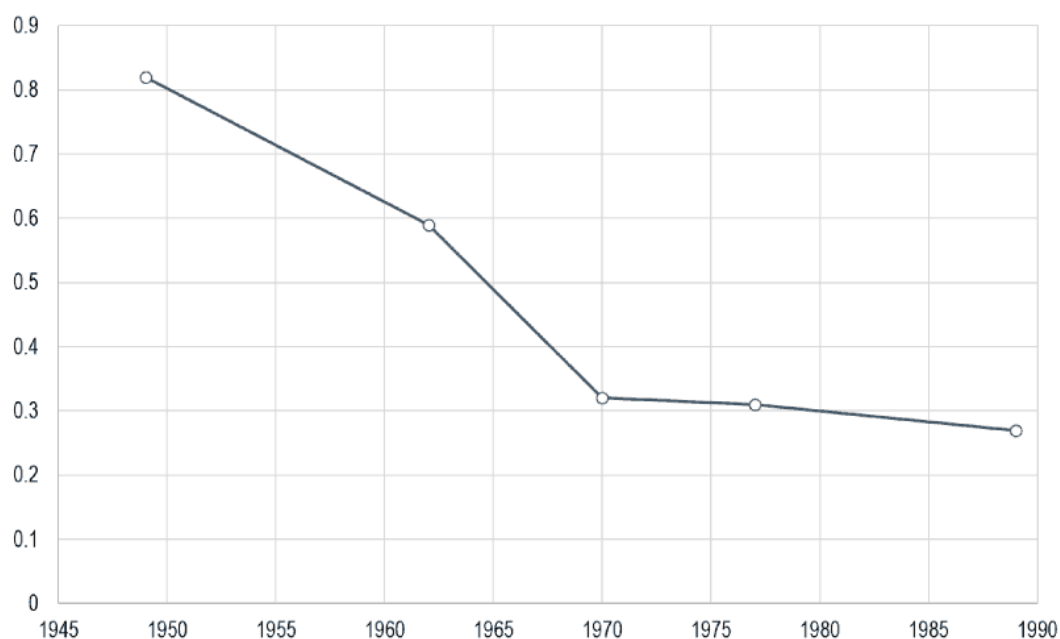


Obrázek 8 - Závislost koeficientů na prostorové interakci

zdroj: [https://transportgeography.org/?page\\_id=8605](https://transportgeography.org/?page_id=8605)

Barevnost křivky v grafu souvisí s hodnotou příslušného koeficientu. Pro koeficient Beta nižší hodnota znamená menší vliv vzdálenosti na prostorovou interakci. Při vyšších hodnotách hraje vliv vzdálenosti velkou roli. U koeficientů Alpha a Lambda např. hodnota 1 znamená lineární závislost mezi interakcí a velikosti populace, při hodnotách vyšších než 1 už je závislost exponenciální.

Následující graf uvádí vývoj koeficientu v průběhu 2. poloviny 20. století.



Obrázek 9 - Vývoj koeficientu beta

zdroj: [https://transportgeography.org/?page\\_id=8611](https://transportgeography.org/?page_id=8611)

Na snižování koeficientu beta se podílel vývoj v letecké dopravě. Začátkem éry proudových motorů se zvyšovala rychlost přepravy a tím se snížil vliv vzdálenosti.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> The Geography of Transport Systems FOURTH EDITION, Jean-Paul Rodrigue (2017), New York: Routledge, 440 pages. ISBN 978-1138669574

### 3. Analýza existujících gravitačních modelů sestavených pro leteckou dopravu

Metody prognózování v letecké dopravě dělí do dvou skupin:

- 1) Metody kvantitativní (též nazývané exaktní) – založené na matematickém aparátu – výpočty.
- 2) Metody kvalitativní (také heuristické) – metodický přístup zjišťování určitého poznatku.

Při kvantitativních metodách předpokládáme, že se do budoucnosti nebude měnit tzv. „charakter časové řady“, který vychází ze statistiky, a že bude daná prognóza platná na základě údajů dostupných z přítomnosti a minulosti. Při tvorbě matematických modelů tedy vytváříme hypotézu pro určitý časový interval.

U heuristických metod se vychází ze zkušeností a intuitivního myšlení, např. tzv. „Delfská metoda“, neboli dotazování.

Gravitační model (kvantitativní metoda, za kvalitativní metodu se dá označit např. marketingový průzkum) se dá použít na prognózu počtu cestujících, kde ještě neexistuje přímé letecké spojení. Vyplývá z Newtonova gravitačního zákona, předpokládá, že poptávka po přepravě je založena na principu gravitace – tedy přímo úměrná hmotnosti a nepřímo úměrná vzdálenosti. Města s větším počtem obyvatel budou mezi sebou více přitažlivá, než města menší. Také, když budou daná města blíže u sebe, je zde větší potenciál generování interakce, než mezi městy vzdálenými.

Obecně se dá říci, že gravitační modely nejsou vhodné u nízkonákladových a charterových dopravců, neboť zde nemusí platit určité zákonitosti vyplývající z gravitačního modelu (např. u charterových dopravců se jedná o lety na objednávku, takže letadlo se předpokládá, že bude zpravidla vždy obsazeno do jeho kapacity). Naopak, gravitační modely jsou využitelné u klasických (síťových) dopravců, neboť poptávka zde záleží zejména na obchodně-podnikatelských faktorech.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> Grosche, T.; Rothlauf, F.; Heinzl, A.: *Gravity models for airline passenger volume estimation*. In Journal of Air Transport Management, 2007(13), s. 175 - 183. ISSN 0969-6997

Jedním z gravitačních modelů:

$$T_{ij} = K \cdot \frac{A_i \cdot A_j}{d_{ij}^p}$$

kde  $T_{ij}$  ... počet cestujících využívajících danou linku,

$K$  ... konstanta,

$A_i, A_j$  ... počet cestujících přepravených na daných letištích,

$d_{ij}$  ... vzdálenost letišť,

$p$  ... koeficient pro přesnější určení skutečného počtu cestujících, pohybuje se v rozmezí  $<1; 1,5>$ .

Model zahrnuje i spádovou oblast letiště. Tento model aplikoval Doganis (1966).

Jeho modifikovaná verze:  $T_{ij} = K \cdot \frac{O_i \cdot O_j}{d_{ij}}$

kde  $O_i, O_j$  představuje počet obyvatel v koncových bodech.

V gravitačním modelu je výsledný tok cestujících funkcí parametrů:

- počtu obyvatel v koncových bodech,
- možnost získat transferové cestující v koncových bodech – kromě lokálních,
- vzdálenost mezi koncovými body,
- ekonomický faktor,
- dostupnost dopravní soustavy mezi koncovými body a obchodní výměna mezi nimi,
- kulturně sociální výměna,
- turistická atraktivita koncových bodů.



Model přepravy z roku 1981 vyvinutý v rámci Evropského společenství:

$$T_{ij} = K \cdot \frac{(A_i \cdot A_j) Q^{3/4}}{p^{1/2}}$$

kde  $A_i, A_j$  ... počet cestujících přepravených na daných letištích,

$Q$  ... ukazatel kvality služby,

$P$  ... cena letenky v ekonomické třídě.

S tímto modelem počítal Doganis (2004) a dosáhl vysokou hodnotu koeficientu determinace  $R^2 = 0,941$ . Tento model je dle mého názoru obtížně aplikovatelný, neboť:

- 1) Týdenní počet letů není přes určité časové období (např. 1 rok) konstantní.
- 2) Cena letenek i u klasických dopravců není pokaždé stejná (je-li více linek během dne, jsou jiné ceny v závislosti na vytíženosti a atraktivnosti daného času).

Jak vyplývá ze vzorce, hodnoty  $A_i$  a  $A_j$  se dají použít pouze tehdy, existuje-li v daném místě letecká přeprava.

Podobný model vyvinutý US Civil Aeronautics Board CAB (frekvence letů, odhad a uspokojení poptávky po přepravě):

$$Q_i = V_i \cdot QT_i \cdot QS_i$$

$Q_i$  ... index kvality služeb,

$V_i$  ... počet letů týdně,

$QT_i$  ... letadlový faktor,

$QS_i$  ... faktor mezipřistání.

Hodnoty indexů stanoveny empiricky – zkusem, pozorováním nebo pokusem na základě zkušenosti. Index  $Q$  je dán jako součet jednotlivých  $Q_i$ .

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i$$

Dále se předpokládá, že poptávka mezi nabízenými linkami odpovídá poměru hodnot  $Q_i$ . Počet cestujících využívajících danou linku  $T_i$  je poté:  $T_i = \frac{Q_i}{Q} T$ . Tento model se používá pro hrubý odhad a ovlivňuje ho více faktorů.

Jeden z dalších gravitačních modelů počítá s tím, že „počet osob cestujících mezi dvěma místy je přímo úměrný počtu obyvatel v koncových oblastech a na každých 100 km vzdálenosti se zvětšuje poloměr kruhové oblasti koncového bodu o 10 km.“<sup>8</sup>

Výsledný tok cestujících se vyjádří:

$$T_c = T \cdot F_v \cdot F_e \cdot F_d$$

$T$  ... počet cestujících mezi dvěma body za jeden měsíc vypočítaný ze vztahu  $T = \frac{O_1 + O_2}{10}$ , kde  $O_{1,2}$  = počet obyvatel oblastí 1,2,

$F_v$  ... vliv vzdálenosti na počet cestujících.  $F_v = \frac{1}{1,45^x}$ , kde  $x$  je vzdálenost ve stovkách kilometrů a používá se do vzdálenosti 1 000 km, z čehož plyne, že jej nelze použít pro mezikontinentální dopravu,

$F_e$  ... ekonomický faktor, který předpokládá, že letecká přeprava roste přibližně stejně jako HDP na obyvatele (v tisících USD) a počítá se ze vztahu

$$F_e = \frac{HDP}{100}$$

$F_d$  = dostupnost dopravní soustavy. Vzdálenost  $x$  vychází ze závislosti poptávky na vzdálenosti mezi oběma místy. Její rovnice:

$$F_d = \frac{0,49}{900} x - 0,09889$$

---

<sup>8</sup> ŽIHILA, Zdeněk. *Provozování podniků letecké dopravy a letišť*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010. ISBN 978-80-7204-677-5.

(Grosche, Rothlauf, 2007) Odborný článek těchto autorů prezentuje dva gravitační modely pro odhad poptávky cestujících po letecké přepravě. Vzorce neobsahují proměnné popisující letecký provoz, ale obsahují proměnné ekonomického charakteru a zeměpisných charakteristik obyvatelstva, a proto se dají použít na dvojice měst, kde zatím neexistuje letecká přeprava a ani nejsou k dispozici data z historie anebo jsou data obtížně dohledatelná. Jeden z modelů cílí na města, která nejsou ohrožena konkurencí okolních letišť, zatímco druhý model započítává všechny města.

### 3.1. Proměnné v gravitačním modelu

- 1) geoeconomické – popisují ekonomickou aktivitu a zeměpisnou charakteristiku – příjem a počet obyvatelstva dané lokality, počet univerzitně vzdělaných obyvatel, počet zaměstnanců na plný úvazek, složení zaměstnanosti daného regionu. Důležitým aspektem je vzdálenost obou měst – s rostoucí vzdáleností roste vliv letecké dopravy, ale klesá společenská a obchodní interakce mezi lokalitami. Zatímco kratší vzdálenost posiluje tyto interakce, vliv letecké dopravy vzhledem k ostatním druhům přepravy klesá.
- 2) související se službami – charakterizují letecký přepravní systém. Počítá se zde s kvalitou a cenou přepravy, dobou přepravy, obsazenost letadel, dochvilností a dalšími proměnnými. Obecně platí, že poptávka po letecké přepravě klesá se zvyšujícími se cenami.

### 3.2. Základní gravitační model

Bere v úvahu letiště, kde neovlivňují poptávku ostatní letiště v blízkosti. Vzorec:

$$V_{ij} = e^{\varepsilon} P_{ij}^{\pi} C_{ij}^{\vartheta} B_{ij}^{\beta} G_{ij}^{\gamma} D_{ij}^{\delta} T_{ij}^{\tau}$$

Independent variables used in the basic model

Notation	Functional form	Factor
$P_{ij}$	$P_i P_j$	Population
$C_{ij}$	$C_i C_j$	Catchment
$B_{ij}$	$B_i + B_j$	Buying power index
$G_{ij}$	$G_i G_j$	Gross domestic product
$D_{ij}$		Geographical distance
$T_{ij}$		Average travel time

Obrázek 10 - Popis proměnných v gravitačním modelu

- population (obyvatelstvo) – zdrojem jsou data ze statistického úřadu, počítají se osoby z blízkého okolí letiště

- catchment (zahrnující oblast) – v blízkosti letiště, dojezdová vzdálenost maximálně 60 minut. Data pocházejí ze statistik Evropské unie NUTS (Nomenclature of Territorial Units for Statistics, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:02003R1059-20180118&from=EN>).
- buying power index (index kupní síly) – udává hodnotu v rámci dojezdové oblasti od letiště. Vychází ze statistik NUTS.
- gross domestic product (Hrubý domácí produkt) – udávaný v milionech euro pro danou oblast.
- average travel time (průměrný čas přepravy) – pochází z MIDT (Marketing Information Data Tapes) – údajů od poskytovatelů rezervací letenek o přepravním času.

Ceny letenek se nezapočítávají, neboť nejsou známa přesná data. Ke kalibraci parametrů gravitačního modelu se využívá metody nejmenších čtverců.

### 3.3. Rozšířený gravitační model

Jsou brány v úvahu města či oblasti s více letišti, které mezi sebou konkurují. Oproti základnímu modelu obsahuje navíc proměnné „počet konkurujících letišť ( $N_{ij}$ )“, „vzdálenost k letišťům ( $A_{ij}$ )“ a „počet konkurujících letišť v závislosti na jejich vzájemné vzdálenosti ( $W_{ij}$ )“. Vzorec rozšířeného modelu:

$$V_{ij} = e^{\varepsilon} P_{ij}^{\pi} C_{ij}^{\vartheta} B_{ij}^{\beta} G_{ij}^{\gamma} D_{ij}^{\delta} T_{ij}^{\tau} N_{ij}^{\mu} A_{ij}^{\alpha} W_{ij}^{\omega}$$

Additional independent variables of the EM

Notation	Functional form	Factor
$N_g$	$N_i N_j$	Number of competing airports
$A_g$	$A_i A_j$	Average distance to competing airports
$W_g$	$W_i W_j$	Number of competing airports weighted by their distance

Obrázek 11 - Doplnující proměnné charakterizující rozšířený model

Pro nejlepší výsledky je nutno započítat konkurující letiště do maximální vzdálenosti 200 km.<sup>9</sup>

### 3.4. Aplikace gravitačního modelu pro čínský trh

Gravitační model bral v úvahu efekt existujících nízkonákladových aerolinií (Spring Airlines) a přítomnost vysokorychlostní železnice. Vzorec pro zkoumaný gravitační model:

$$\ln PAX_{ijt} = a_0 + a_1 GDP_{it} + a_2 GDP_{jt} + \alpha_3 \ln DIST_{ij} + \alpha_4 RAIL_{ijt} + \alpha_5 LCC_{ijt} + \alpha_6 POLICY_t + \alpha_7 TOUR_{ij} + \alpha_8 FUEL_t + a_9 I_i + a_{10} I_j + \varepsilon_{ijt}$$

**Table 1: Definition of variables and descriptive statistics**

Variables	Explanation	Data source	Obs.	Mean	Std. Dev.
PAX	Bilateral air passenger traffic	Statistical Data on Civil Aviation of China (2004-2013)	2,221	548,684	640,451
GDP1 (in 10,000 Yuan)	GDP of origin city	China City Statistical Year Book (2004-2013)	2,247	7.93e+07	4.98e+07
GDP1 (in 10,000 Yuan)	GDP of destination city	China City Statistical Year Book (2004-2013)	2,245	2.53e+07	2.30e+07
DIST(km)	Bilateral distance between endpoint cities	Statistical Data on Civil Aviation of China (2004)	2,247	1,232	642
RAIL	A dummy denoting the presence of HSR between two cities	National Railway Administration	2,247	0.012	0.107
LCC	A dummy denoting the presence of Spring Airlines between two cities	Timetables at Spring Airlines' website	2,247	0.057	0.233
POLICY	A dummy denoting a period (2006-2012) during which a liberal air transport policy applied		2,247	0.721	0.449
TOUR	A dummy denoting the tourism nature of a route		2,247	0.302	0.459
FUEL(US D/Gallon)	Annual average jet fuel price	US Energy Information Administration	2,247	2.080	0.716

**Obrázek 12 - Proměnné v gravitačním modelu**

Autoři se zabývali aplikací gravitačního modelu pro předpověď poptávky cestujících na čínském trhu. Použili tzv. „Poisson Pseudo-Maximum Likelihood (PPML) approach with

<sup>9</sup> Grosche, T.; Rothlauf, F.; Heinzl, A.: *Gravity models for airline passenger volume estimation*. In Journal of Air Transport Management, 2007(13), s. 175 - 183. ISSN 0969-6997

fixed effects“. Jedná se o odhadovou metodu používanou u gravitačních modelů, patřící do skupiny všeobecných lineárních modelů. Odhaduje se pomocí regrese, např. logaritmické.

Základní gravitační model může být dle autorů vyjádřen:

$$X_{ijt} = \alpha_0 GDP_{it} GDP_{jt} Dist_{ij}$$

$X_{ijt}$  = dvojstranný tok mezi oblastmi i a j

$GDP_{it}$  ( $GDP_{jt}$ ) = hrubý domácí produkt oblasti i a j

$Dist_{ij}$  = vzdálenost mezi oblastmi i a j

Gravitační model zahrnuje další proměnné, např. společná hranice, jazyk (jedná-li se o sousední státy, oblasti), obchodní dohody. V letecké dopravě ovlivňuje poptávku na určité trase přítomnost nízkonákladových aerolinií, nebo vysokorychlostní železnice. Bylo zjištěno, že vysokorychlostní železnice snížily poptávku po letecké přepravě na kratší vzdálenosti. Na druhou stranu nízkonákladové aerolinie přispěly k dostupnosti letecké přepravy a ke zvýšení počtu cestujících.<sup>10</sup>

Práce Grosche (2007) a Zhang (2016) byly hlavním zdrojem pro tuto bakalářskou práci, jak je blíže specifikováno v zadání bakalářské práce.

Další práce, které používaly podobných metod regrese u lineárních modelů, byly například Cohen (2016) – diplomová práce na Amsterdamské univerzitě, Sivrikaya (2013) – odhad poptávky pro vnitrozemní leteckou přepravu v Turecku, Piermartini (2008) – výzkumná práce sledující dopad „liberalizace“ leteckých přepravních služeb na poptávku v letecké dopravě ve spolupráci se Světovou obchodní organizací (WTO), Olariaga (2017) – vnitrozemská přeprava v Kolumbii, Hazledine (2016) – předpověď regionální poptávky na území Nového Zélandu v letech 2018 až 2043.

---

<sup>10</sup> Zhang, Y.; Lin, F.; Zhang, A.: *Gravity models in air transport research: A survey and an application*. In Handbook of International Trade and Transportation. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 679 s. ISBN 978-1-78536-614-7.

Bínová (2015) používala upravený gravitační model pro předpověď poptávky na transatlantických letech. Používá tzv. „diferenciální evoluční iterativní algoritmy implementované s metodou gradientu“ pro výpočet koeficientů modelu.

$$T_{ij} = a_i b_j \frac{POP_i \cdot BUS_j}{DIS_{ij}^x}$$

$POP_i$  = počet obyvatel výchozího letiště  $i$ ,

$BUS_j$  = počet firem anebo atraktivita okolo druhého letiště  $j$ ,

$DIS_{ij}$  = vzdálenost mezi letišti  $i$  a  $j$ ,

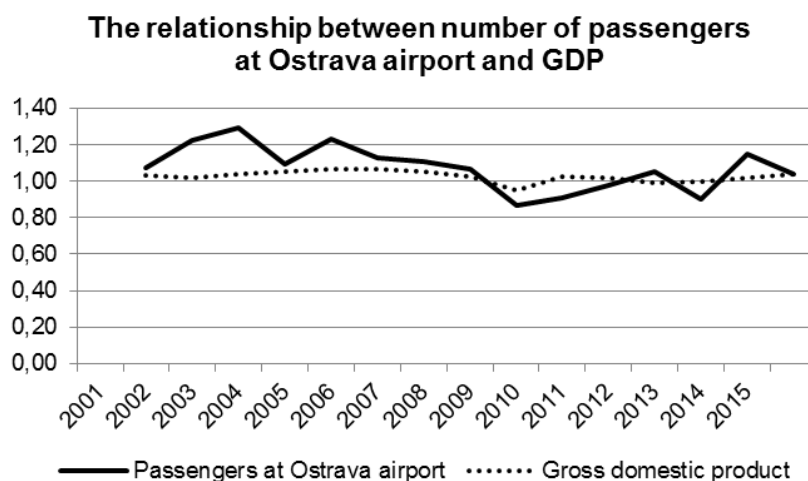
$T_{ij}$  = predikovaný počet letů mezi letišti  $i$  a  $j$ ,

$a_i$  = konstanta produktivity daného letiště,

$b_j$  = konstanta atraktivity daného letiště.

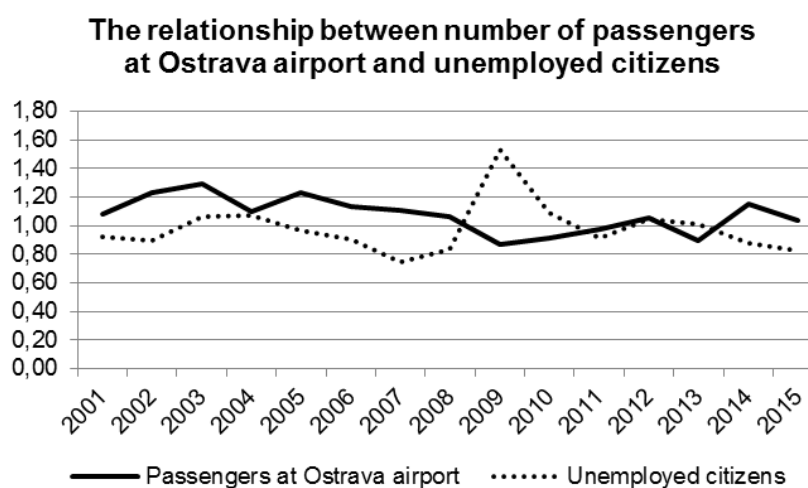
Hodnoty parametrů modelu  $a_i$ ,  $b_j$  a  $x$  jsou výsledkem procesu kalibrace.

Heřmánková, Pojkarová (Univerzita Pardubice) se ve svém článku „*Poptávka po letecké dopravě a ekonomická aktivita v České republice*“ zabývaly vztahem mezi poptávkou hlavních civilních letišť a makroekonomickými ukazateli (počet obyvatel, hrubý domácí produkt, míra nezaměstnanosti, průměrná mzda). Používaly metody korelační analýzy. Ze závěrů vyplývá, že nejlepší přímá úměra mezi HDP a počtem cestujících je v Ostravě. Největší nepřímou úměru spatřují mezi počtem cestujících v Ostravě a počtem nezaměstnaných.



**Obrázek 13 - Závislost počtu cestujících na letišti Ostrava na HDP**

*Zdroj: POPTÁVKA PO LETECKÉ DOPRAVĚ A EKONOMICKÁ AKTIVITA V ČESKÉ REPUBLICE, Lenka Heřmánková, Kateřina Pojkarová*



**Obrázek 14 - Závislost počtu cestujících na letišti Ostrava na míře nezaměstnanosti**

*Zdroj: POPTÁVKA PO LETECKÉ DOPRAVĚ A EKONOMICKÁ AKTIVITA V ČESKÉ REPUBLICE, Lenka Heřmánková, Kateřina Pojkarová*

Pro mezikontinentální dopravu cestujících lze predikovat poptávku všeobecným modelem používaným pro transport dle Rodrigue (2017):

$$T_{ij} = k \cdot \frac{P_i^\lambda P_j^\alpha}{d_{ij}^\beta}$$

$P_{i,j}$  ... počty obyvatel míst  $i$  a  $j$ ,



$d_{ij}$  ... vzdálenost mezi místy  $i$  a  $j$ ,

$k$  ... konstanta,

$\lambda$  – koeficient emitivity (potenciál místa  $i$  generovat pohyb odvozený např. z průměrné výše příjmů v místě  $i$ ),

$\alpha$  – koeficient atraktivity (potenciál místa  $j$  přitahovat pohyby odvozený např. z nabídky služeb v místě  $j$ ),

$\beta$  – koeficient efektivity (jeho hodnota vyjadřuje rychlost nebo intenzitu dopravního propojení míst  $i$  a  $j$ ).

Kalibrační konstanty byly stanoveny empiricky, tzn. ověřeny experimentálně či pozorováním. Konstanty  $k$  a  $\beta$  mají doporučenou hodnotu ( $k = 0,0001$ ,  $\beta = 1,34$ ). Konstanty  $\alpha$  a  $\lambda$  jsou stanoveny na základě rozdělení zemského povrchu na 6 sektorů – dle kontinentů.



Obrázek 15 - Mapa rozdělení světa do sektorů

Sektor	$\lambda$	$\alpha$
Evropa	1,08	1,08
Severní Amerika	1,08	1,08
Jižní Amerika	1,01	1,01
Asie	0,99	0,99
Afrika	0,91	0,91
Oceánie	1,07	1,07

Nicméně tento model dává o počtech cestujících poměrně hrubé a velmi nepřesné odhady.

#### 4. Analýza dostupných dat a výběr nejvhodnějšího typu gravitačního modelu

Následující tabulka podává přehled o několika pracích, které zkoumaly poptávku po letecké dopravě gravitačními modely. Ve sloupcích tabulky jsou uvedeni jednotliví autoři a rok jejich prací, v řádcích tabulky jsou uvedeny různé faktory, se kterými autoři počítali ve svých pracích. V tabulce jsou křížkem zaškrtnuta pole, které daný gravitační model daného autora obsahuje. Zeleně podbarvená jsou pole, u kterých jsou „lehčím“ způsobem dohledatelné údaje. Většina gravitačních modelů od autorů počítá s databázemi údajů o přepravních údajích, přepravním chování jednotlivých cestujících (MIDT, Sabre, ICAO, IATA BSP, OAG), které ovšem nebylo pro účely předložené bakalářské práce možno použít z důvodu jejich vysoké ceny za použití (cena za přístup do databází se pohybuje v řádech několika tisíc USD).

Pro potřeby bakalářské práce bude vycházeno z dat Eurostat – statistického úřadu Evropské unie. Eurostat je jediný relevantní zdroj informací, který je bezplatný.

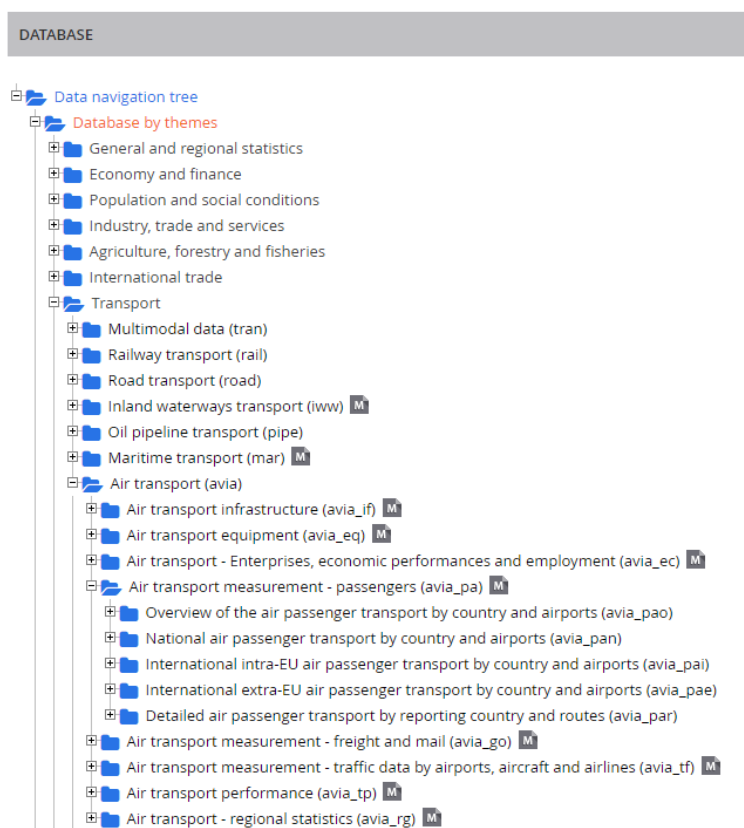
Pro dosažení odhadu poptávky v určité relaci bude nutno mít k dispozici hodnoty kalibračních konstant. Ty lze stanovit na základě informací o podobných relacích. Čím více informací o podobných relacích bude mít k dispozici, tím přesnější odhad lze očekávat. Dále budou využita data o počtech osob odbavených na daných letištích, a to jak počet odlétávajících, tak přilétávajících (jistá analogie produktivity a atraktivity daného letiště). Při výběru proměnných do zadaného modelu byla hodnota počtu cestujících odbavených na letišti preferována před počtem obyvatel dané oblasti, neboť existuje reálný předpoklad, že tento údaj lépe vystihuje přepravní chování osob v letecké dopravě, protože zahrnuje také vliv spádové oblasti okolo letiště.

## Přehledová tabulka prací zkoumajících poptávku v letecké dopravě v závislosti na faktorech v modelech využitých

Faktory	Rodrigue (2017)	Grosche (2007)	Zhang (2016)	Žiňla (2010)	Cohen (2016)	Binová (2015)	Hazledine (2016)	Piermartini (2008)	Olanaga (2017)	Svirikaya (2013)	Normmik (2016)
Počet obyvatel jednotlivých oblastí	X	X		X	X	X	X		X	X	
Spádová oblast		X			X		X		X		
Index kupní síly		X									
Hrubý domácí produkt		X	X	X	X		X		X	X	
Vzdálenost	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Doba přepravy		X								X	
Index kvality služeb				X							
Index liberalizace			X					X			
Vliv nízkonákladových aerolinií			X								
Vliv vysokorychlostní železnice			X								
Cena paliva			X							X	
Počet cestujících na daném letišti				X		X	X				X
Cena letenky				X	X		X			X	X
Frekvence letů				X	X		X			X	
Míra nezaměstnanosti						X				X	
Počet firem v dané oblasti						X					
Státní hranice, jazyk mluvy								X			
Mezinárodní letecké dohody								X			
Přestupní / přímý let										X	
Ubytovací kapacita										X	
Vysvětlivky	X	uvedený model obsahuje daný faktor									
		jsem schopen dohledat údaje (data)									

Tabulka 1 - Přehledová tabulka studií

Na oficiálních stránkách Eurostat pokračují přes *Data – Database – Database by themes – Transport – Air Transport – Air transport measurement (passengers)*. Dostanu se do stromu databází:



Obrázek 16 - Databáze Eurostat

Zdroj obrázku: vlastní

V sekci *Detailed air passengers transport by reporting country and routes (avia\_par)* je možno najít přehled letů s uvedením počtu cestujících (lze si zde vybírat, zda bude pracováno s obousměrným počtem cestujících, nebo s jednosměrnými počty v obou směrech), dále je možno si zde vybrat časové období, pro které má být statistika zobrazena. V případě potřeby pracovat s ročním počtem cestujících, byl poslední aktuální údaj v databázi vztahující se k roku 2018 (pro rok 2019 ještě nebyl kompletně zpracovaný celý rok).

Pro účely odhadu poptávky byla vybrána relace obsluhovaná novou pravidelnou leteckou linkou Varšava, Frederic Chopin (IATA kód WAW) – Ostrava, Leoš Janáček Airport (IATA kód OSR). Informace se nacházely v databázi s označením *Air passenger transport between the main airports of Poland and their main partner airports (routes data)*

(avia\_par\_pl). Databázi lze v dialogovém okně upravit tak, aby obsahovala pouze údaje o letišti ve Varšavě s uvedením informací za celé kalendářní roky.

**Air passenger transport between the main airports of Poland and their main partner airports (routes data)**  
 Last update: 22-02-2020  
 Table Customization [show](#)

TIME + AIRP\_PR  
 Unit of measure  
 Passenger +

AIRP_PR	TIME	2015	2016	2017	2018
WARSAWA/CHOPINA airport - WIEN-SCHWECHAT airport		205,411	206,149	222,737	260,667
WARSAWA/CHOPINA airport - BRUSSELS airport		243,771	232,319	299,081	329,330
WARSAWA/CHOPINA airport - CHARLEROI/BRUSSELS SOUTH airport		132,339	110,712	127,770	135,367
WARSAWA/CHOPINA airport - BURGAS airport		:	92,188	102,267	111,642
WARSAWA/CHOPINA airport - SOFIA airport		:	:	82,225	94,003
WARSAWA/CHOPINA airport - MINSK-2 airport		:	:	92,576	122,396
WARSAWA/CHOPINA airport - GENEVA airport		:	85,620	86,569	109,363
WARSAWA/CHOPINA airport - ZURICH airport		179,834	253,964	274,395	304,041
WARSAWA/CHOPINA airport - LARNAKA/INTL airport		:	:	103,557	147,470
WARSAWA/CHOPINA airport - PRAHA/RUZYNIE airport		179,672	196,005	212,637	233,187
WARSAWA/CHOPINA airport - FRANKFURT/MAIN airport		467,884	497,432	531,694	534,045
WARSAWA/CHOPINA airport - HAMBURG airport		:	84,862	104,161	111,287
WARSAWA/CHOPINA airport - KOELN/BONN airport		:	:	:	:
WARSAWA/CHOPINA airport - DUESSELDORF airport		144,250	202,544	265,815	235,886
WARSAWA/CHOPINA airport - MUENCHEN airport		284,275	308,998	325,844	362,445
WARSAWA/CHOPINA airport - STUTTGART airport		:	:	:	89,124
WARSAWA/CHOPINA airport - BERLIN-TEGEL airport		119,130	111,384	108,375	109,358
WARSAWA/CHOPINA airport - KOBENHAVN/KASTRUP airport		229,561	242,072	249,429	262,044
WARSAWA/CHOPINA airport - LENNART MERI TALLINN airport		:	:	110,171	145,261

Obrázek 17 - Výřez z databáze Eurostat o počtu cestujících na dané relaci

*Zdroj: vlastní*

Pro zjištění počtu cestujících na daném letišti (může být opět voleno časové období a buď celkový počet, nebo jednotlivé počty odlétávajících a přilétávajících cestujících na daném letišti) bude použita databáze s názvem *Air passenger transport by main airports in each reporting country*.

## Air passenger transport by main airports in each reporting country

Last update: 03-03-2020

Table Customization [show](#)

TIME	+	REP_AIRP
+ Traffic and transport measurement		+ Type of schedule
Passengers carried	+	Total

REP_AIRP	2018M01	2018M02	2018M03	2018M04	2018M05	2018M06
ANTWERPEN/DEURNE airport	17,297	18,872	22,970	25,546	29,855	28,662
BRUSSELS airport	1,619,307	1,646,898	1,957,114	2,252,228	2,261,756	2,310,259
CHARLEROI/BRUSSELS SOUT	531,282	506,661	583,865	741,568	747,471	714,289
LIEGE airport	7,191	6,155	8,546	10,476	14,511	17,269
OOSTENDE/BRUGGE airport	15,310	15,726	19,107	32,316	38,979	40,427
BURGAS airport	7,494	6,808	12,407	45,866	162,306	614,124
SOFIA airport	498,144	470,470	553,895	605,108	615,651	623,209
VARNA airport	59,109	50,822	67,000	76,365	166,951	361,865
KARLOVY VARY airport	669	1,917	4,179	4,666	3,802	4,130
OSTRAVA/MOSNOV airport	9,795	10,878	12,121	10,996	12,999	53,573
PARDUBICE airport	19,012	9,555	13,899	16,022	9,764	13,401
PRAHA/RUZYNE airport	933,994	941,157	1,186,138	1,322,518	1,413,107	1,674,738
BRNO/TURANY airport	10,161	8,944	10,923	15,051	19,018	75,549
AERO airport	:	:	:	:	:	:
AARHUS airport	28,103	27,568	32,855	41,349	46,660	47,191
BILLUND airport	208,466	208,568	253,528	276,332	318,275	346,861
KOBENHAVN/KAstrup airport	1,916,770	1,947,919	2,366,399	2,485,269	2,744,643	2,937,222
ESBJERG airport	5,533	4,779	5,848	6,205	7,257	6,887
KARUP airport	10,233	10,860	12,103	12,452	14,234	12,814
ARHUS/KIRSTINESMINDE air	:	:	:	:	:	:
ODENSE airport	:	:	:	:	:	:
KOBENHAVN/ROSKILDE airpo	153	106	277	281	572	566
BORNHOLM/RONNE airport	17,998	18,033	21,252	23,328	25,482	31,312
SONDERBORG airport	4,496	4,287	5,255	5,123	6,868	6,894
VOJENS/SKRYDSTRUP airport	:	:	:	:	:	:
THISTED airport	:	:	:	:	:	:
VAGAR airport	:	:	:	:	:	:
STAUNING airport	:	:	:	:	:	:
VAERSLOSE airport	:	:	:	:	:	:
AALBORG airport	112,168	112,589	128,606	129,431	139,328	144,692
Unknown airport - DENMARK	:	:	:	:	:	:
LEIPZIG-ALTENBURG airport	:	:	:	:	:	:
HERINGSDORF airport	:	:	:	:	:	:
MAGDEBURG/COCHSTEDT air	:	:	:	:	:	:
BARTH airport	:	:	:	:	:	:
MAGDEBURG/CITY airport	:	:	:	:	:	:
RUEGEN airport	:	:	:	:	:	:
BERLIN-SCHOENEFELD airpor	880,577	892,759	1,050,675	1,120,522	1,127,516	1,094,084
DRESDEN airport	96,863	103,634	135,135	134,267	151,360	166,719
ERFURT-WEIMAR airport	5,894	7,677	14,161	16,188	26,406	27,885
FRANKFURT/MAIN airport	1,533,653	1,355,884	1,550,850	1,733,645	1,483,260	1,350,600

Obrázek 18 - příklad databáze o počtu cestujících na daném letišti

*Zdroj: vlastní*

Databáze se otvírají ve webovém prohlížeči. Pro stažení dat je zde výhoda, že se dají stáhnout ve formátech např. xls, pdf, což usnadňuje následnou práci s daty v počítači.

Proměnné vyskytující se v jiných gravitačních modelech a jejich stručný popis:

Počet obyvatelstva (Population) – větší počet obyvatel dané oblasti vytváří větší potenciál pro generování pohybu. Bere se nejdostupnější údaj zahrnující obyvatele z měst, kde se daná letiště nachází, zahrnuje spádové oblasti. Zdrojem dat může být Český statistický úřad, nebo Eurostat.

Spádová oblast (Catchment) – zahrnuje oblast blízko danému letišti. Počítá se s dojezdovým časem na letiště do 60 minut. Na stránkách letiště Ostrava: <http://www.airport-ostrava.cz/cz/page-spadova-oblast/> je uvedeno, že do spádové oblasti letiště Ostrava odpovídající 60 minutám časové dostupnosti patří cca 2,9 milionu obyvatel.

Vzdálenost – počítá se s nejkratší možnou ortodromickou vzdáleností mezi dvěma letišti, které jsou dány svými souřadnicemi. Jeden z možných zdrojů informací: <https://www.prokerala.com/travel/airports/distance/>

Hrubý domácí produkt – Gross domestic product. Bere se jako proměnná odkazující na jistý stupeň ekonomické aktivity daného cíle. Platí, že oblast s vyšším HDP bude pro potencionálního pasažéra atraktivnější a může více přitahovat zájem. Dle definice se jedná o „peněžní vyjádření celkové hodnoty statků a služeb nově vytvořených v daném období na určitém území“.<sup>11</sup>

Index kupní síly – Buying power index. Udává se v procentech pro danou oblast, přičemž za evropský průměr se bere hodnota 100 %. Tímto indexem se porovnávají hodnoty HDP napříč Evropskou unií s ohledem na různé měny jednotlivých členských států. Eliminuje rozdíl cenových hladin jednotlivých oblastí.<sup>12</sup> Pro představu nejvyšší hodnotu indexu má oblast západního Londýna (označení UKI3), hodnota 623 %. Nejnížší hodnotu má oblast jižního Srbska (označení RS22), hodnota 24 %.<sup>13</sup>

Průměrný čas přepravy (Average travel time) – jedná se o průměrný cestovní čas mezi dvěma městy. Počítá se s časy z rezervačních systémů daného dopravce. Dle mého názoru je zde jistá analogie s vzdáleností obou míst – čas přepravy se úměrně zvětšuje se zvětšující se vzdáleností.

Ukazatel kvality služeb – některé z gravitačních modelů používají ke stanovení poptávky tento index. Nicméně tyto postupy nejsou příliš používané pro jejich skryté vady, které snižují přesnost výsledného modelu. Při svých průzkumech ho používá např. výrobce letadel Airbus, model obsahuje proměnné jako frekvence letů, typ konektivity

---

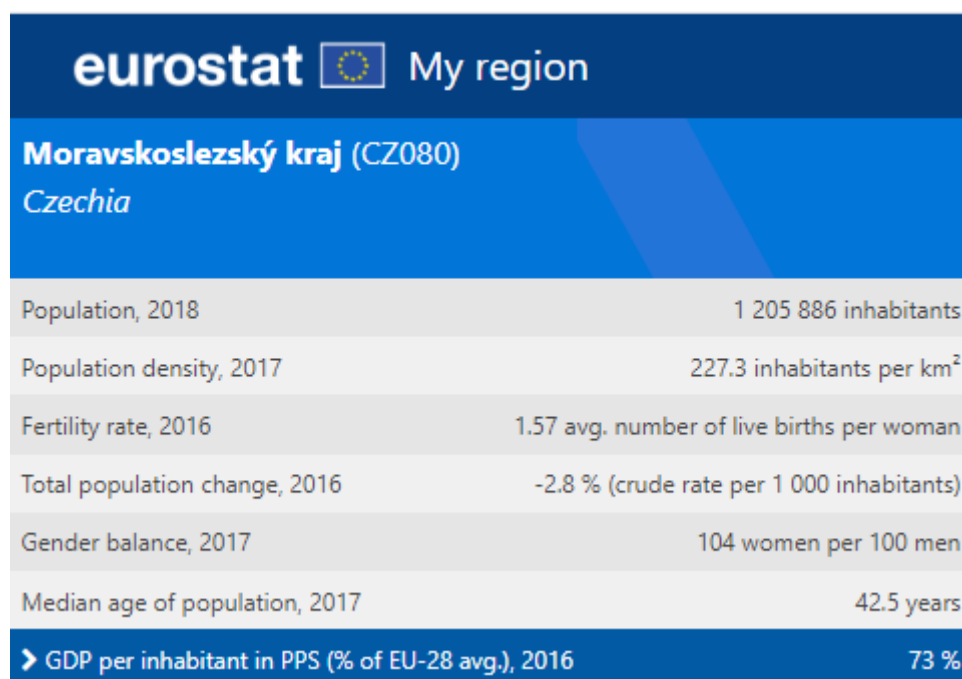
<sup>11</sup> [https://www.czso.cz/csu/czso/hruby\\_domaci\\_produk\\_t\\_-hdp-](https://www.czso.cz/csu/czso/hruby_domaci_produk_t_-hdp-)


<sup>12</sup> [https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/sdg\\_10\\_10](https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/sdg_10_10)

<sup>13</sup> [https://ec.europa.eu/eurostat/cache/RCI/myregion/#?reg=UKH2&ind=18-2\\_nama\\_10r\\_2gdp](https://ec.europa.eu/eurostat/cache/RCI/myregion/#?reg=UKH2&ind=18-2_nama_10r_2gdp)

(přímý let nebo s mezipřistáním), a samotnou kvalitu služeb na palubě letadel, která je funkcí více atributů.<sup>14</sup> Jiné zdroje uvádí, že kvalita služeb může představovat týdenní frekvenci letů na dané relaci.

NUTS (Nomenclature des Unites Territoriales Statistique) – „Jedná se o zkratku z francouzštiny – klasifikace územních statistických jednotek. Tyto statistické územní jednotky Evropské unie jsou územní celky vytvořené pro statistické účely Evropského statistického úřadu a pro porovnání ekonomických ukazatelů členských zemí EU. Vymezení jednotlivých úrovní NUTS je charakterizováno počtem obyvatel a rozlohou. Jednotky NUTS jsou skladebné od úrovně NUTS 0, NUTS I, NUTS II až po NUTS V. Česká republika je na jednotlivé úrovně NUTS rozdělena následovně: NUTS 0 a NUTS I je celá Česká republika, NUTS II jsou regiony soudržnosti (územní jednotky bez vlastní správy uměle vytvořené pro potřeby nomenklatury NUTS, v ČR tzv. sdružené kraje), NUTS III jsou kraje, NUTS IV okresy a NUTS V obce.“<sup>15</sup> Např. Moravskoslezský kraj má dle NUTS3 označení CZ080. Následující obrázek ukazuje na základní statistiky Moravskoslezského kraje v rámci NUTS.



eurostat  My region	
<b>Moravskoslezský kraj (CZ080)</b> Czechia	
Population, 2018	1 205 886 inhabitants
Population density, 2017	227.3 inhabitants per km <sup>2</sup>
Fertility rate, 2016	1.57 avg. number of live births per woman
Total population change, 2016	-2.8 % (crude rate per 1 000 inhabitants)
Gender balance, 2017	104 women per 100 men
Median age of population, 2017	42.5 years
➤ GDP per inhabitant in PPS (% of EU-28 avg.), 2016	73 %

Obrázek 19 - Statistika Moravskoslezského kraje, který má u EU dle NUTS označení CZ080

<sup>14</sup> [https://www.linkedin.com/pulse/air-service-forecasting-do-your-math-right-marc-gordien?trk=related\\_article\\_Air%20Service%20Forecasting%20-%20Do%20Your%20Math%20Right!\\_article-card\\_title](https://www.linkedin.com/pulse/air-service-forecasting-do-your-math-right-marc-gordien?trk=related_article_Air%20Service%20Forecasting%20-%20Do%20Your%20Math%20Right!_article-card_title)

<sup>15</sup> Zdroj: <https://www.dotaceeu.cz/cs/Ostatni/Dulezite/Slovník-pojmu/N/NUTS>



Zdroj: [https://ec.europa.eu/eurostat/cache/RCI/myregion/#?reg=CZ080&ind=20-3\\_nama\\_10r\\_3gdp](https://ec.europa.eu/eurostat/cache/RCI/myregion/#?reg=CZ080&ind=20-3_nama_10r_3gdp)

ALI (Air liberalisation index) – vyvinutý sekretariátem Světové obchodní organizace (WTO – World Trade Organization) a sledující účinek legislativy a dohod v leteckém provozu na tok a obchod zboží v letecké přepravě. Do modelů vnáší projevy politické (záležitosti i na režimu daného státu), bylo zjištěno, že větší tok cestujících je dán liberálnějšími (volnějšími) politickým uspořádáním daného regionu – státu. Ve výzkumné práci se uvádí, že při zvýšení percentilu volnosti z hodnoty 25 na hodnotu 75 se zvýší objem přepravy o 30 %. Hodnota indexu se pohybuje v rozmezí 0 až 50. Nula je spojená s nejvíce omezeními, zatímco 50 označuje nejvíce svobodné domluvy. Stupeň liberalizace se dle nich stanovuje dle sedmi funkcí ASA – Air service agreements (dohod o leteckých službách). Pro Českou republiku připadá index 22,93.<sup>16</sup>

MIDT (Market Information Data Tapes) – zahrnuje údaje z rezervačních systémů. Zjištěné údaje se používají pro kalibraci konstant v gravitačním modelu. Jedním z hlavních zdrojů jsou Globální distribuční systémy (Sabre, Amadeus, TravelPort, TravelSky, Abacus, atd...) a také OAG, neboli Official Aviation Guide – společnost založená v roce 1929 a sbírá data (údaje) z rezervačních systémů.<sup>17</sup> Údaje z MIDT obsahují např.: detailní popis cesty (letišť odletu, příletu, mezipřistání, údaje o aerolince), počty cestujících, den v týdnu a čas, délka pobytu na každém místě, hlavní rezervační časy atd. V údajích MIDT většinou chybí informace od nízkonákladových dopravců – cestující si většinou kupují letenky přímo u leteckých společností (např. na jejich webové stránce) a nebývají spojeni s žádným z Globálních distribučních systémů. MIDT nezahrnuje informace o tom, zda cestující na dané letiště přijel z blízkého okolí, nebo k němu jel třeba i 300 km, což již může zapojit do rozhodování i jiná alternativní letiště.<sup>18</sup>

---

<sup>16</sup> Zdroj: *Liberalization of Air Transport Services and Passenger Traffic*, Piermartini, Rousová, 2008

<sup>17</sup> Zdroj: <https://www.oag.com/traffic-analyser>

<sup>18</sup> Zdroj: <https://www.linkedin.com/pulse/midt-top-5-things-you-should-know-marc-gordien>

## 5. Aplikace vybraného gravitačního modelu na zadanou relaci

Jako relaci, na kterou budu aplikovat gravitační model, jsem si vybral nově zaváděnou linku Ostrava Mošnov – Varšava, letiště Frederica Chopina, na které má operovat polský národní dopravce – letecká společnost LOT od 30. 3. 2020 s frekvencí 5 letů týdně, přičemž po několika měsících provozu se počítalo s rozšířením na 10 letů týdně. Obsluhována by měla být letadly typu Embraer 175 nebo Bombardier Dash Q400.

Nicméně, kvůli současné pandemii koronaviru Covid 19 se zahájení provozu odkládá až na 1. září 2020, přímo s frekvencí 10 letů týdně, jak uvedla polská letecká společnost LOT.<sup>19</sup>

Aplikace gravitačního modelu pro lety z a do Ostravy má ale určitá specifika (úskalí), které mohou ovlivnit jeho výslednou přesnost. Patří zde například nedostatek dat o počtu cestujících do jednotlivých destinací. Navíc na letišti Ostrava převažují charterové cestující, odbavovaní hlavně v období od června do října. Protože tyto lety jsou tzv. lety na objednávku, čili řídí se jinými zákonitostmi, než pravidelné lety, nelze s daty o počtech cestujících na charterových letech počítat.

Další z faktorů, který ovlivňuje aplikovatelnost gravitačního modelu, je počet pravidelných linek provozovaných z tohoto letiště, a také skutečnost, zda jsou tyto linky provozovány klasickými nebo nízkonákladovými dopravci. Letiště Ostrava má v tomto směru zásadní nevýhodu, protože je z něj dlouhodobě provozována pouze jediná pravidelná linka do Londýna a navíc ji provozuje nízkonákladový dopravce, u kterého se poptávka po přepravě odvíjí z trochu jiných zákonitostí než u klasických dopravců.

Proto z výše uvedených důvodů byla pro zvolené gravitační modely použita data o přepravě z letiště Frederica Chopina ve Varšavě. Toto letiště odbaví ročně miliony cestujících a létá z/do něj velké množství pravidelných linek provozovaných klasickými dopravci. Proto také jeho data jsou pro gravitační model výhodnější.

---

<sup>19</sup> Zdroj: <http://www.airport-ostrava.cz/cz/page-aktuality/article-611-otevreni-linky-do-varsavy-odloženo-kvuli-koronaviru-na-1-zari-2020/>

Původním záměrem bylo porovnat výsledky dosažené gravitačními modely s realitou, tedy se skutečnými počty cestujících, kteří měli být od zahájení provozu linky v březnu odbavováni.

Protože však, jak již bylo uvedeno, výše, zahájení provozu na lince je odloženo, a tedy reálná data nebudou v době odevzdání a obhajoby práce k dispozici, byl přijat náhradní řešitelský záměr spočívající v odhadu hodnoty poptávky s využitím dvou gravitačních modelů lišících se od sebe teoretickou podstatou a směřováním cestujících.

## 5.1. Výpočty s gravitačním modelem 1

$$V_{ij} = k \cdot \frac{(A_i \cdot A_j)^\alpha}{d_{ij}^\gamma} + chyba$$

$V_{ij}$  ... počet přepravovaných osob v relaci i a j,

$k$  ... konstanta,

$A_i, A_j$  ... počet cestujících odbavených na daném letišti / počet obyvatel dané oblasti,

$d_{ij}$  ... vzdálenost mezi letišti,

$\alpha$  ... parametr zahrnující vliv počtu cestujících odbavených na daném letišti / počtem obyvatel v dané spádové oblasti,

$\gamma$  ... parametr ovlivňující vzdálenost mezi letišti.

Postup výpočtu na základě hodnot uvedených v databázi Eurostat:

- 1) identifikace maximálního počtu pravidelných a celoročně provozovaných linek létajících z/do Varšavy (ze souboru všech linek byly vyloučeny např. charterové linky z/do Varšavy do/z přímořských letovisek apod.),
- 2) na základě databáze Eurostat identifikace počtů cestujících odbavených na jednotlivých linkách podle jednotlivých směrů, tyto hodnoty budou postupně dosazovány za parametry  $V_{ij}$ , každá linka v Gravitačním modelu 1 tedy bude pro každou relaci charakterizována dvěma hodnotami poptávky (pro každý směr jedna hodnota  $V_{ij}$ ),
- 3) výpočet hodnot produktivit a atraktivit pro Varšavu a jednotlivá letiště, do kterých létá z Varšavy pravidelná letecká linka v souboru vytvořeném v kroku 1, za produktivitu letiště bude vždy dosazen celkový počet cestujících odlétávajících z daného letiště a za hodnotu atraktivity letiště bude dosazen celkový počet cestujících přilétajících na dané letiště,
- 4) sestava tabulky jednosměrných relací s uvedením hodnot produktivity a atraktivity pro každou jednosměrnou relaci,
- 5) identifikace vzdušné přímé vzdálenost letišť pro každou relaci (pro každou relaci je uvažována stejná vzdálenost v obou směrech),
- 6) výpočet kalibračních konstant pro relaci Varšava – Vídeň s využitím doplňku Řešitel,
- 7) dosazení kalibrační konstanty do vztahu pro odhad poptávky v relaci Varšava – Ostrava a zpět.

Realizace kroku 1 je provedena v Tabulce 2, ve které je uveden počtu pravidelných a celoročně provozovaných linek létajících z/do Varšavy snížený o vyloučené linky.

Relace (pouze pravidelné)	celkem cestujících na relaci 2018	cestující tam	cestující zpáteční
WARSZAWA/CHOPINA airport - WIEN-SCHWECHAT airport	260667	130486	130181
WARSZAWA/CHOPINA airport - BRUSSELS airport	329330	165180	164150
WARSZAWA/CHOPINA airport - CHARLEROI/BRUSSELS SOUTH airport	135367	67438	67929
WARSZAWA/CHOPINA airport - GENEVA airport	109363	53143	56220
WARSZAWA/CHOPINA airport - ZURICH airport	304041	151461	152580
WARSZAWA/CHOPINA airport - PRAHA/RUZYNĚ airport	233187	116415	116772
WARSZAWA/CHOPINA airport - FRANKFURT/MAIN airport	234045	272552	261493
WARSZAWA/CHOPINA airport - HAMBURG airport	111287	56141	55146
WARSZAWA/CHOPINA airport - DUESSELDORF airport	235886	118047	117839
WARSZAWA/CHOPINA airport - MUENCHEN airport	362445	180596	181849
WARSZAWA/CHOPINA airport - STUTTGART airport	89124	42898	46226
WARSZAWA/CHOPINA airport - BERLIN-TEGEL airport	109358	54996	54362
WARSZAWA/CHOPINA airport - KOBENHAVN/KASTRUP airport	262044	132449	129595
WARSZAWA/CHOPINA airport - LENNART MERI TALLINN airport	145261	71242	74019
WARSZAWA/CHOPINA airport - ATHINA/ELEFTHERIOS VENIZELOS airport	102014	50696	51318
WARSZAWA/CHOPINA airport - BARCELONA/EL PRAT airport	249345	123772	125573
WARSZAWA/CHOPINA airport - ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport	108674	53443	55231
WARSZAWA/CHOPINA airport - HELSINKI/VANTAA airport	122496	63150	59346
WARSZAWA/CHOPINA airport - NICE-COTE D'AZUR airport	94227	47294	46933
WARSZAWA/CHOPINA airport - PARIS-CHARLES DE GAULLE airport	572819	283566	289253
WARSZAWA/CHOPINA airport - BUDAPEST/LISZT FERENC INTERNATIONAL airport	261726	129421	132305
WARSZAWA/CHOPINA airport - MILANO/MALPENSA airport	137576	68935	68641
WARSZAWA/CHOPINA airport - BERGAMO/ORIO AL SERIO airport	124134	61221	62913
WARSZAWA/CHOPINA airport - ROMA/FIUMICINO airport	278699	140564	138135
WARSZAWA/CHOPINA airport - VILNIUS INTL airport	254682	126112	128550
WARSZAWA/CHOPINA airport - RIGA airport	164200	83185	81015
WARSZAWA/CHOPINA airport - AMSTERDAM/SCHIPHOL airport	494926	250108	244818
WARSZAWA/CHOPINA airport - OSLO/GARDERMOEN airport	202647	101001	101646
WARSZAWA/CHOPINA airport - SANDEFJORD/TORP airport	111249	55954	55295
WARSZAWA/CHOPINA airport - GDANSK IM LECHA WALESY airport	269736	133895	135841
WARSZAWA/CHOPINA airport - KRAKOW/BALICE airport	397564	195560	202004
WARSZAWA/CHOPINA airport - KATOWICE/PYRZOWICE airport	144316	71860	72456
WARSZAWA/CHOPINA airport - POZNAN/LAWICA airport	184285	91818	92467
WARSZAWA/CHOPINA airport - RZESZOW/JASIONKA airport	220830	109045	111785
WARSZAWA/CHOPINA airport - SZCZECIN/GOLENIOW airport	232395	115445	116950
WARSZAWA/CHOPINA airport - WROCLAW/STRACHOWICE airport	266644	134263	132381
WARSZAWA/CHOPINA airport - LISBOA airport	132946	67436	65510
WARSZAWA/CHOPINA airport - BUCURESTI/HENRI COANDA airport	214000	105497	108503
WARSZAWA/CHOPINA airport - GOTEBORG/LANDVETTER airport	84904	43085	41819
WARSZAWA/CHOPINA airport - STOCKHOLM/STAVSTA airport	89915	45155	44760
WARSZAWA/CHOPINA airport - MALMO airport	80939	40830	40109
WARSZAWA/CHOPINA airport - STOCKHOLM/ARLANDA airport	127252	64379	62873
WARSZAWA/CHOPINA airport - LONDON LUTON airport	487154	242661	244493
WARSZAWA/CHOPINA airport - LONDON HEATHROW airport	501290	254466	246824

Tabulka 2 - Počty cestujících přepravených na pravidelných linkách z letiště Varšava za rok 2018

Protože je v Gravitačním modelu 1 uvažováno s tím, že každý směr linky je samostatnou relací, bude tedy celkový počet rovnic pro jednotlivé relace v Gravitačním modelu 1 dvojnásobný, než je uvedeno v Tabulce 2.

V Tabulce 2 je možno také dohledat počty cestujících, kteří byli ve Varšavě odbaveni před odletem (produktivita letiště Varšava) a po příletu (atraktivita letiště Varšava).

V Tabulce 3 je možno dohledat počty cestujících, kteří byli odbaveni před odletem (produktivita letiště) a po příletu (atraktivita letiště) mimo letiště Varšava. Jedná se tedy o realizaci kroku 3 obecného postupu, vyjma letiště Varšava, jehož produktivita a atraktivita byla odhadnuta v Tabulce 2. V Tabulce 3 je obsaženo také letiště Ostrava, hodnoty k němu vztažené nebudou použity při kalibraci konstant gravitačního modelu, ale při odhadu poptávky v relaci Varšava – Ostrava.

Název letiště	celkem cestujících 2018	počet odlétávajících cestujících	počet přilétávajících cestujících
BRUSSELS airport	24974286	12470750	12503536
CHARLEROI/BRUSSELS SOUTH airport	8016781	4002953	4013828
OSTRAVA/MOSNOV airport	344344	168909	175435
PRAHA/RUZYNE airport	16145848	8061576	8084272
KOBENHAVN/KASTRUP airport	28820059	14368468	14451591
FRANKFURT/MAIN airport	69195995	34413571	34782424
HAMBURG airport	16437573	8208952	8228621
DUESSELDORF airport	23285060	11640369	11644691
MUENCHEN airport	45713834	22783600	22930234
STUTTGART airport	11431823	5734346	5697477
BERLIN-TEGEL airport	21834648	10853970	10980678
LENNART MERI TALLINN airport	2644799	1341657	1303142
ATHINA/ELEFTHERIOS VENIZELOS airport	23894974	11912250	11982724
BARCELONA/EL PRAT airport	49051804	24520227	24531577
ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport	56019628	27837517	28182111
NICE-COTE D AZUR airport	13710888	6861189	6849699
PARIS-CHARLES DE GAULLE airport	71356093	35656942	35699151
MILANO/MALPENSA airport	24004512	11961290	12043222
BERGAMO/ORIO AL SERIO airport	12626177	6318066	6308111
ROMA/FIUMICINO airport	42828938	21384933	21444005
RIGA airport	6769197	3391095	3378102
VILNIUS/INTERNATIONAL airport	4227592	2106895	2120697
BUDAPEST/LISZT FERENC INTERNATIONAL airport	14355760	7225008	7130752
AMSTERDAM/SCHIPHOL airport	68808834	34507890	34300944
WIEN-SCHWECHAT airport	26788296	13450470	13337826
GDANSK IM LECHA WALESY airport	4827828	2413596	2414232
KRAKOW/BALICE airport	6676827	3356013	3320814
KATOWICE/PYRZOWICE airport	2833565	1426673	1406892
POZNAN/LAWICA airport	2452817	1229892	1222925
RZESZOW/JASIONKA airport	709416	355889	353527
SZCZECIN/GOLENIAW airport	582629	292518	290111
WARSAWA/CHOPINA airport	16117195	8046443	8070752
WROCLAW/STRACHOWICE airport	2812243	1408302	1403941
LISBOA airport	28926398	14392457	14533941
BUCURESTI/HENRI COANDA airport	13487396	6791788	6695608
HELSINKI-VANTAA airport	20290661	10156586	10134075
GOTEBORG/LANDVETTER airport	6849958	3422962	3426996
STOCKHOLM/SKAVSTA airport	2214981	1102651	1112330
MALMO airport	2171942	1083811	1088131
STOCKHOLM/MARLANDA airport	26940777	13463170	13477607
LONDON LUTON airport	16406310	8162911	8243399
LONDON HEATHROW airport	80029489	39603855	40425634
OSLO/GARDERMOEN airport	27430250	13637753	13792497
SANDEFJORD/TORP airport	2023182	1008932	1014250
GENEVA airport	17492921	8762331	8730590
ZURICH airport	30883557	15447524	15436033

**Tabulka 3 - Počty cestujících odbavených na letištích mimo letiště Varšava**

V Tabulce 4 již obsahuje seznam vstupních dat pro kalibrační výpočet. Tedy seznam relací (relaci tvoří jeden směr každé linky), hodnoty produktivit letišť odletů pro jednotlivé relace, hodnoty atraktivit jednotlivých relací (letišť příletu) a hodnoty vzdáleností jednotlivých relací, tím jsou ukončeny kroky 4 a 5.

Relace	počet odlétávajících cestujících	počet přilétávajících cestujících	vzdálenost mezi místy	skutečně cestujících na dané relaci
Varšava - Vídeň	8046443	13337826	550	130486
Vídeň - Varšava	13450470	8070752	550	130181
Varšava - Brusel	8046443	12503536	1146	165180
Brusel - Varšava	12470750	8070752	1146	164150
Varšava - Charleroi	8046443	4013828	1161	67438
Charleroi - Varšava	4002953	8070752	1161	67929
Varšava - Geneva	8046443	8730590	1262	53143
Geneva - Varšava	8762331	8070752	1262	56220
Varšava - Zurich	8046443	15436033	1031	151461
Zurich - Varšava	15447524	8070752	1031	152580
Varšava - Praha	8046443	8084272	520	116415
Praha - Varšava	8061576	8070752	520	116772
Varšava - Frankfurt	8046443	34782424	896	272552
Frankfurt - Varšava	34413571	8070752	896	261493
Varšava - Hamburg	8046443	8228621	753	56141
Hamburg - Varšava	8208952	8070752	753	55146
Varšava - Dusseldorf	8046443	11644691	982	118047
Dusseldorf - Varšava	11640369	8070752	982	117839
Varšava - Mnichov	8046443	22930234	778	180596
Mnichov - Varšava	22783600	8070752	778	181849
Varšava - Stuttgart	8046443	5697477	918	42898
Stuttgart - Varšava	5734346	8070752	918	46226
Varšava - Tegel	8046443	10980678	523	54996
Tegel - Varšava	10853970	8070752	523	54362
Varšava - Kodaň	8046443	14451591	667	132449
Kodaň - Varšava	14368468	8070752	667	129595
Varšava - Tallinn	8046443	1303142	841	71242
Tallinn - Varšava	1341657	8070752	841	74019
Varšava - Atheny	8046443	11982724	1599	50696
Atheny - Varšava	11912250	8070752	1599	51318
Varšava - Barcelona	8046443	24531577	1870	123772
Barcelona - Varšava	24520227	8070752	1870	125573
Varšava - Madrid	8046443	28182111	2272	53443
Madrid - Varšava	27837517	8070752	2272	55231
Varšava - Helsinky	8046443	10134075	939	63150
Helsinky - Varšava	10156586	8070752	939	59346
Varšava - Nice	8046443	6849699	1390	47294
Nice - Varšava	6861189	8070752	1390	46933
Varšava - Paříž	8046443	35699151	1342	283566
Paříž - Varšava	35656942	8070752	1342	289253
Varšava - Budapešť	8046443	7130752	540	129421
Budapešť - Varšava	7225008	8070752	540	132305
Varšava - Milano	8046443	12043222	1150	68935
Milano - Varšava	11961290	8070752	1150	68641
Varšava - Bergamo	8046443	6308111	1093	61221
Bergamo - Varšava	6318066	8070752	1093	62913
Varšava - Řím	8046443	21444005	1326	140564
Řím - Varšava	21384933	8070752	1326	138135
Varšava - Vilnius	8046443	2120697	397	126112
Vilnius - Varšava	2106895	8070752	397	128550
Varšava - Riga	8046443	3378102	564	83185
Riga - Varšava	3391095	8070752	564	81015
Varšava - Amsterdam	8046443	34300944	1101	250108
Amsterdam - Varšava	34507890	8070752	1101	244818
Varšava - Oslo	8046443	13792497	1063	101001
Oslo - Varšava	13637753	8070752	1063	101646
Varšava - Sandefjord	8046443	1014250	1028	55954
Sandefjord - Varšava	1008932	8070752	1028	55295
Varšava - Gdansk	8046443	2414232	297	133895
Gdansk - Varšava	2413596	8070752	297	135841
Varšava - Krakow	8046443	3320814	246	195560
Krakow - Varšava	3356013	8070752	246	202004
Varšava - Katowice	8046443	1406892	229	71860
Katowice - Varšava	1426673	8070752	229	72456
Varšava - Poznan	8046443	1222925	282	91818
Poznan - Varšava	1229892	8070752	282	92467
Varšava - Rzeszow	8046443	353527	240	109045
Rzeszow - Varšava	355889	8070752	240	111785
Varšava - Szczecin	8046443	290111	436	115445
Szczecin - Varšava	292518	8070752	436	116950
Varšava - Wroclaw	8046443	1403941	305	134263
Wroclaw - Varšava	1408302	8070752	305	132381
Varšava - Lisabon	8046443	14533941	2750	67436
Lisabon - Varšava	14392457	8070752	2750	65510
Varšava - Bukurest	8046443	6695608	925	105497
Bukurest - Varšava	6791788	8070752	925	108503
Varšava - Goteborg	8046443	3426996	825	43085
Goteborg - Varšava	3422962	8070752	825	41819
Varšava - Skavsta	8046443	1112330	779	45155
Skavsta - Varšava	1102651	8070752	779	44760
Varšava - Malmo	8046443	1088131	624	40830
Malmo - Varšava	1083811	8070752	624	40109
Varšava - Arlanda	8046443	13477607	854	64379
Arlanda - Varšava	13463170	8070752	854	62873
Varšava - Luton	8046443	8243399	1455	242661
Luton - Varšava	8162911	8070752	1455	244493
Varšava - Heathrow	8046443	40425634	1470	254466
Heathrow - Varšava	39603855	8070752	1470	246824

Tabulka 4 - Jednosměrné relace pro výpočet modelu

Na začátku kalibračního výpočtu byly zvoleny počáteční hodnoty kalibračních konstant  $k = 1$ ,  $\alpha = 1$ ,  $\gamma = 1$ .

Stanovím odchylky (ve vzorci uvedeno jako „chyba“) pro všechny relace ze vzorce:

$$chyba = V_{ij} - k \cdot \frac{(A_i \cdot A_j)^\alpha}{d_{ij}^\gamma}$$

Řešitel vypočítá<sup>20</sup>:

$$\sum_i \sum_j chyba_{i,j}^2 \rightarrow \min$$

Výsledky výpočtu před kalibrací jsou shrnuty v Tabulce 5.

---

<sup>20</sup> Dorda, Michal – *Metody prognózování v dopravě*



Relace	skutečně cestujících na dané relaci	teoretický počet dle gravitačního modelu
Varšava - Vídeň	130486	5,90271E+16
Vídeň - Varšava	130181	5,97055E+16
Varšava - Brusel	165180	1,15298E+17
Brusel - Varšava	164150	1,15343E+17
Varšava - Charleroi	67438	3,74969E+16
Charleroi - Varšava	67929	3,75082E+16
Varšava - Geneva	53143	8,86557E+16
Geneva - Varšava	56220	8,92469E+16
Varšava - Zurich	151461	1,28056E+17
Zurich - Varšava	152580	1,28538E+17
Varšava - Praha	116415	3,38258E+16
Praha - Varšava	116772	3,38327E+16
Varšava - Frankfurt	272552	2,50768E+17
Frankfurt - Varšava	261493	2,48858E+17
Varšava - Hamburg	56141	4,9857E+16
Hamburg - Varšava	55146	4,98881E+16
Varšava - Dusseldorf	118047	9,20118E+16
Dusseldorf - Varšava	117839	9,22555E+16
Varšava - Mnichov	180596	1,43546E+17
Mnichov - Varšava	181849	1,43059E+17
Varšava - Stuttgart	42898	4,20852E+16
Stuttgart - Varšava	46226	4,24855E+16
Varšava - Tegel	54996	4,62099E+16
Tegel - Varšava	54362	4,58146E+16
Varšava - Kodaň	132449	7,75614E+16
Kodaň - Varšava	129595	7,73482E+16
Varšava - Tallinn	71242	8,81844E+15
Tallinn - Varšava	74019	9,1065E+15
Varšava - Atheny	50696	1,54173E+17
Atheny - Varšava	51318	1,53729E+17
Varšava - Barcelona	123772	3,69123E+17
Barcelona - Varšava	125573	3,70067E+17
Varšava - Madrid	53443	5,15212E+17
Madrid - Varšava	55231	5,1045E+17
Varšava - Helsinky	63150	7,65691E+16
Helsinky - Varšava	59346	7,6971E+16
Varšava - Nice	47294	7,66108E+16
Nice - Varšava	46933	7,69712E+16
Varšava - Paříž	283566	3,85491E+17
Paříž - Varšava	289253	3,86199E+17
Varšava - Budapešť	129421	3,09837E+16
Budapešť - Varšava	132305	3,14881E+16
Varšava - Milano	68935	1,11441E+17
Milano - Varšava	68641	1,11017E+17
Varšava - Bergamo	61221	5,54783E+16
Bergamo - Varšava	62913	5,57338E+16
Varšava - Řím	140564	2,28799E+17
Řím - Varšava	138135	2,28858E+17
Varšava - Vilnius	126112	6,77443E+15
Vilnius - Varšava	128550	6,75068E+15
Varšava - Riga	83185	1,53305E+16
Riga - Varšava	81015	1,54359E+16
Varšava - Amsterdam	250108	3,03877E+17
Amsterdam - Varšava	244818	3,06634E+17
Varšava - Oslo	101001	1,17972E+17
Oslo - Varšava	101646	1,17001E+17
Varšava - Sandefjord	55954	8,38962E+15
Sandefjord - Varšava	55295	8,37084E+15
Varšava - Gdansk	133895	5,76952E+15
Gdansk - Varšava	135841	5,78542E+15
Varšava - Krakow	195560	6,5733E+15
Krakow - Varšava	202004	6,66304E+15
Varšava - Katowice	71860	2,59239E+15
Katowice - Varšava	72456	2,63678E+15
Varšava - Poznan	91818	2,77494E+15
Poznan - Varšava	92467	2,79918E+15
Varšava - Rzeszow	109045	6,82712E+14
Rzeszow - Varšava	111785	6,8935E+14
Varšava - Sczecin	115445	1,01778E+15
Sczecin - Varšava	116950	1,02933E+15
Varšava - Wroclaw	134263	3,4455E+15
Wroclaw - Varšava	132381	3,46665E+15
Varšava - Lisabon	67436	3,21603E+17
Lisabon - Varšava	65510	3,19434E+17
Varšava - Bukurest	105497	4,98351E+16
Bukurest - Varšava	108503	5,07037E+16
Varšava - Goteborg	43085	2,27495E+16
Goteborg - Varšava	41819	2,27913E+16
Varšava - Skavsta	45155	6,97228E+15
Skavsta - Varšava	44760	6,93249E+15
Varšava - Malmo	40830	5,46348E+15
Malmo - Varšava	40109	5,45823E+15
Varšava - Arlanda	64379	9,26136E+16
Arlanda - Varšava	62873	9,27939E+16
Varšava - Luton	242661	9,65102E+16
Luton - Varšava	244493	9,58566E+16
Varšava - Heathrow	254466	4,78165E+17
Heathrow - Varšava	246824	4,6986E+17

Tabulka 5 - Porovnání skutečného a teoretického toku cestujících před kalibrací

součet chyb=	2,51255E+36
k	1
alfa	1
gama	1

Tabulka 6 - Součet chyb čtverců odchylek při počátečních hodnotách parametru 1

Pro zjištění optimálních hodnot kalibračních konstant (krok 6) využijí doplněk Řešitel.

M	N	O	P	Q
součet chyb=	2,51255E+36			
k	1			
alfa	1			
gama	1			

Parametry Řešitele

Nastavit cíl:

Na: ☐ Max ☒ Min ☐ Hodnota:

Na základě změny proměnných buněk:

Omezující podmínky:

☒ Nastavit proměnné bez omezujících podmínek jako nezáporné

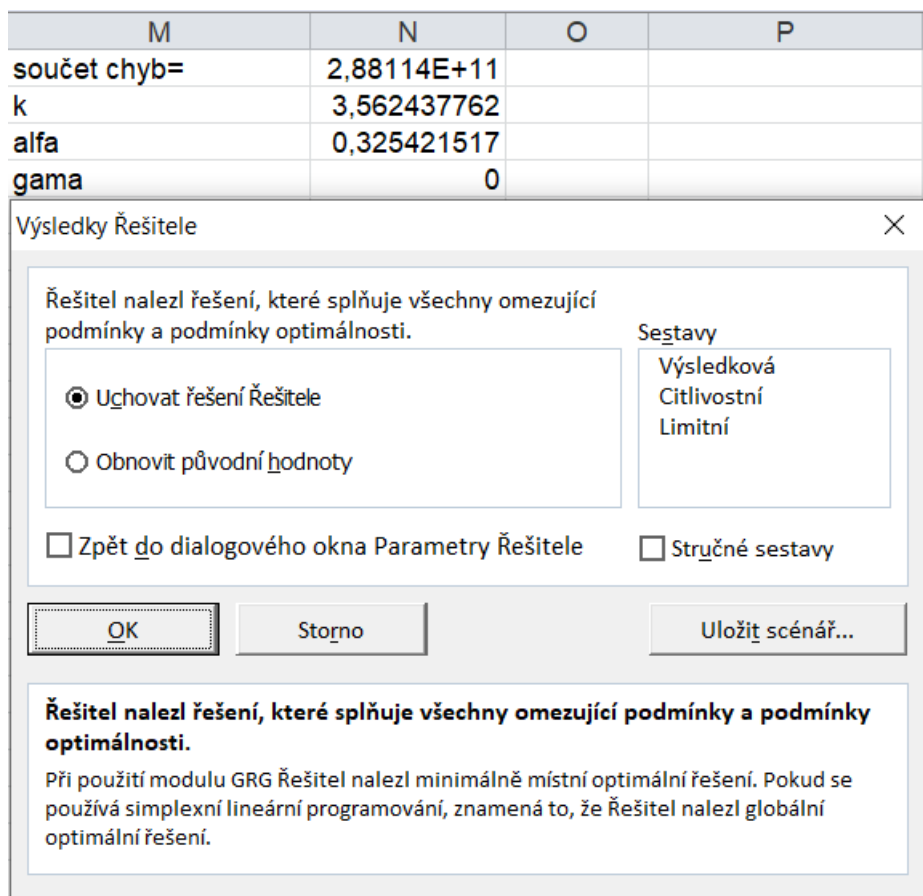
Vyberte metodu řešení:

Metoda řešení

Modul GRG Nonlinear vyberte pro hladké nelineární problémy Řešitele. Modul LP Simplex zvolte pro lineární problémy Řešitele a modul Evolutionary pro nehladké problémy Řešitele.

Obrázek 20 - Nastavení parametrů Řešitele pro kalibrační výpočet

*Zdroj: vlastní*



Obrázek 21 - Nalezení optimálních hodnot kalibračních konstant

*Zdroj: vlastní*

Tím je ukončen krok 6 obecného postupu. Z výsledku dosažených v doplňku Řešitel vyplývá, že parametr gama u vzdálenosti nehraje v modelu žádnou roli, neboť jakékoli číslo umocněné na nultou dává hodnotu 1.

Tabulka 7 obsahuje jednotlivé relace, kde je nejdříve uveden skutečný počet cestujících a následně teoretický počet cestujících vypočítaný gravitačním modelem. V posledním sloupci uvádím „chybu“, neboli odchylku skutečné a teoreticky spočítané hodnoty.

Relace	skutečně cestujících na dané relaci	teoretický počet dle gravitačního modelu	chyba
Varšava - Vídeň	130486	131109,8687	-623,8686699
Vídeň - Varšava	130181	131598,2999	-1417,299928
Varšava - Brusel	165180	128382,7261	36797,2739
Brusel - Varšava	164150	128399,0604	35750,93955
Varšava - Charleroi	67438	88699,15981	-21261,15981
Charleroi - Varšava	67929	88707,91983	-20778,91983
Varšava - Geneve	53143	114220,5727	-61077,57266
Geneve - Varšava	56220	114467,8538	-58247,85382
Varšava - Zurich	151461	137493,9502	13967,04979
Zurich - Varšava	152580	137662,3193	14917,68074
Varšava - Praha	116415	111397,2279	5017,772112
Praha - Varšava	116772	111404,6653	5367,334693
Varšava - Frankfurt	272552	179101,8857	93450,11427
Frankfurt - Varšava	261493	178656,8801	82836,11987
Varšava - Hamburg	56141	112040,65	-55899,65001
Hamburg - Varšava	55146	112063,3801	-56917,38013
Varšava - Dusseldorf	118047	125443,8806	-7396,880577
Dusseldorf - Varšava	117839	125551,9142	-7712,914157
Varšava - Mnichov	180596	156392,0574	24203,94261
Mnichov - Varšava	181849	156219,1772	25629,8228
Varšava - Stuttgart	42898	99408,58023	-56510,58023
Stuttgart - Varšava	46226	99715,30031	-53489,30031
Varšava - Tegel	54996	123069,8349	-68073,83495
Tegel - Varšava	54362	122726,2999	-68364,29994
Varšava - Kodaň	132449	134576,7431	-2127,743118
Kodaň - Varšava	129595	134456,28	-4861,280037
Varšava - Tallinn	71242	61507,67154	9734,32846
Tallinn - Varšava	74019	62154,43357	11864,56643
Varšava - Atheny	50696	126617,4855	-75921,48554
Atheny - Varšava	51318	126498,7857	-75180,78572
Varšava - Barcelona	123772	159865,6174	-36093,61743
Barcelona - Varšava	125573	159998,5285	-34425,52853
Varšava - Madrid	53443	167248,0575	-113805,0575
Madrid - Varšava	55231	166743,4064	-111512,4064
Varšava - Helsinky	63150	119898,0974	-56748,09742
Helsinky - Varšava	59346	120102,5428	-60756,5428
Varšava - Nice	47294	105548,9659	-58254,96586
Nice - Varšava	46933	105710,269	-58777,26904
Varšava - Paříž	283566	180624,5528	102941,4472
Paříž - Varšava	289253	180732,3552	108520,6448
Varšava - Budapešť	129421	106939,24	22481,75996
Budapešť - Varšava	132305	107502,681	24802,31902
Varšava - Milano	68935	126825,162	-57890,16201
Milano - Varšava	68641	126668,0196	-58027,01956
Varšava - Bergamo	61221	102757,3633	-41536,36325
Bergamo - Varšava	62913	102911,0794	-39998,07942
Varšava - Řím	140564	153018,551	-12454,55096
Řím - Varšava	138135	153031,3998	-14896,39982
Varšava - Vilnius	126112	72069,52634	54042,47366
Vilnius - Varšava	128550	71987,18367	56562,81633
Varšava - Riga	83185	83859,0601	-674,0601049
Riga - Varšava	81015	84046,34958	-3031,349585
Varšava - Amsterdam	250108	178291,2914	71816,70859
Amsterdam - Varšava	244818	178816,077	66001,92304
Varšava - Oslo	101001	132547,8905	-31546,89047
Oslo - Varšava	101646	132191,811	-30545,81097
Varšava - Sandefjord	55954	56690,23011	-736,2301112
Sandefjord - Varšava	55295	56648,9111	-1353,911102
Varšava - Gdansk	133895	75174,92836	58720,07164
Gdansk - Varšava	135841	75242,30812	60598,69188
Varšava - Krakow	195560	83393,5942	112166,4058
Krakow - Varšava	202004	83762,40665	118241,5933
Varšava - Katowice	71860	63060,25764	8799,74236
Katowice - Varšava	72456	63409,64418	9046,355818
Varšava - Poznan	91818	60249,06096	31568,93904
Poznan - Varšava	92467	60419,82596	32047,17404
Varšava - Rzeszow	109045	40230,50579	68814,49421
Rzeszow - Varšava	111785	40357,37655	71427,62345
Varšava - Szczecin	115445	37723,79052	77721,20948
Szczecin - Varšava	116950	37862,50901	79087,49099
Varšava - Wroclaw	134263	63017,18337	71245,81663
Wroclaw - Varšava	132381	63142,77053	69238,22947
Varšava - Lisabon	67436	134825,8188	-67389,81882
Lisabon - Varšava	65510	134529,2904	-69019,29042
Varšava - Bukurest	105497	104770,3369	726,6631289
Bukurest - Varšava	108503	105361,1148	3141,885218
Varšava - Goteborg	43085	84252,13088	-41167,13088
Goteborg - Varšava	41819	84302,55884	-42483,55884
Varšava - Skavsta	45155	58418,97382	-13263,97382
Skavsta - Varšava	44760	58310,27438	-13550,27438
Varšava - Malmo	40830	58002,31741	-17172,31741
Malmo - Varšava	40109	57984,17212	-17875,17212
Varšava - Arlanda	64379	131555,4386	-67176,43855
Arlanda - Varšava	62873	131638,7226	-68765,72256
Varšava - Luton	242661	112106,0907	130554,9093
Luton - Varšava	244493	111858,4573	132634,5427
Varšava - Heathrow	254466	188082,8537	66383,14626
Heathrow - Varšava	246824	187013,5055	59810,49454

Tabulka 7 - Porovnání skutečného a teoretického počtu cestujících po kalibraci

Zbývá ještě realizovat poslední krok 7 – odhad poptávky pro relaci Varšava – Ostrava.

Sestavíme Tabulku 8.

vzdalenost = 340 km	počet cestujících na letišti (odlétávající, $A_i$ )	počet cestujících na letišti (přilétávající, $A_j$ )	počet cestujících na lince ( $V_{ij}$ )
Varšava - Ostrava	8046443	175435	32027,8407
Ostrava - Varšava	168909	8070752	31666,23435

**Tabulka 8 - Očekávaný počet cestujících na relaci Varšava - Ostrava a zpět s využitím Gravitačního modelu 1**

Kdyby došlo k zahájení provozu linky Varšava – Ostrava v roce 2018, dá se na základě výsledků Gravitačního modelu 1 očekávat, že celkový počet odbavených cestujících by za tento rok činil v obou směrech 63 700 cestujících. Když uvažujeme s dobou provozu linky cca 350 dní v roce, přičemž každý den se uskuteční 4 lety, tedy celkem 1 400 letů ročně, potom průměrná výše poptávky na let je cca 45 cestujících.

Při nasazení letounu Embraer 175 s kapacitou 85 míst bude průměrné obsazení letounu při jednom letu cca 71 %. Při nasazení letounu Bombardier Dash Q400 s kapacitou 75 míst bude průměrné obsazení letounu při jednom letu cca 81 %.

## 5.2. Aplikace Gravitačního modelu 2

$$V_{ij} = A_{ij}^{\alpha} B_{ij}^{\beta} H_{ij}^{\gamma} D_{ij}^{\delta} + chyba$$

$$V_{ij} = (A_i \cdot A_j)^{\alpha} \cdot (B_i + B_j)^{\beta} \cdot (H_i \cdot H_j)^{\gamma} \cdot D_{ij}^{\delta} + chyba$$

$V_{ij}$  ... počet přepravovaných osob v relaci i a j,

$A_i, A_j$  ... počty cestujících odbavených na letištích i a j / počty obyvatel spádových oblastí i a j,

$\alpha$  je parametr řídící vliv faktorů  $A_i, A_j$ ,

$B_i, B_j$  ... indexy kupní síly v oblasti dle NUTS 2, kde se daná letiště nachází,

$\beta$  ... parametr řídící vliv indexy kupní síly,

$H_i, H_j$  ... hrubý domácí produkt v oblasti dle NUTS 2, kde se daná letiště nacházejí (může být nahrazeno HDP na osobu),

$\gamma$  je parametr řídící vliv hrubých domácích produktů v oblastech dle NUTS 2,

$D_{ij}$  ... vzdálenost mezi oblastmi,

$\delta$  ... je parametr řídící vliv vzdálenosti mezi oblastmi.

Postup řešení je analogický jako v případě Gravitačního modelu 1. Relací se bude rozumět provozování linky v obou směrech (na rozdíl od předchozího přístupu, ve kterém se relací rozuměly jednotlivé směry provozovaných linek). Výsledek tedy bude udávat obousměrný tok cestujících bez rozdělení na jednotlivé směry.

Druhý model se liší od prvního dále tím, že obsahuje další nové vstupní parametry vystihující danou správní oblast, ve které se letiště nachází. Jsou to proměnné ekonomického charakteru, a to index kupní síly a hrubý domácí produkt. Druhý model se také liší tím, že jsou všechny proměnné ve vzájemném součinu (vzdálenost letišť se násobí s ostatními parametry).

Tabulka 9 uvádí jednotlivá letiště vstupující do výpočtu a jejich spádové oblasti s označením dle NUTS2. Seznam letišť je stejný jako v případě Gravitačního modelu 1.

Letiště destinace	Název regionu dle NUTS 2 a označení
WIEN-SCHWECHAT airport	Wien (AT13)
BRUSSELS airport	Région de Bruxelles-Capitale (BE10)
CHARLEROI/BRUSSELS SOUTH airport	Hainaut (BE32)
PRAHA/RUZYNE airport	Praha (CZ01)
FRANKFURT/MAIN airport	Darmstadt (DE71)
HAMBURG airport	Hamburg (DE60)
DUESSELDORF airport	Dusseldorf (DEA1)
MUENCHEN airport	Oberbayern (DE21)
STUTTGART airport	Stuttgart (DE11)
BERLIN-TEGEL airport	Berlin (DE30)
KOBENHAVN/KASTRUP airport	Hovestaden (DK01)
LENNART MERI TALLINN airport	Eesti (EE00)
ATHINA/ELEFThERIOS VENIZELOS airport	Attiki (EL30)
BARCELONA/EL PRAT airport	Cataluna (ES51)
ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport	Comunidad de Madrid (ES30)
HELSINKI/VANTAA airport	Helsinki Uusinaa (FI1B)
NICE-COTE D'AZUR airport	Provence Alpes Cote d Azur (FRL0)
PARIS-CHARLES DE GAULLE airport	Ile de France (FR10)
BUDAPEST/LISZT FERENC INTERNATIONAL airport	Budapest (HU11)
MILANO/MALPENSA airport	Lombardia (ITC4)
BERGAMO/ORIO AL SERIO airport	Lombardia (ITC4)
ROMA/FIUMICINO airport	Lazio (ITI4)
VILNIUS INTL airport	Sostines Regionas (LT01)
RIGA airport	Latvija (LV00)
AMSTERDAM/SCHIPHOL airport	Noord Holland (NL32)
OSLO/GARDERMOEN airport	Oslo og Akershus (NO01)
SANDEFJORD/TORP airport	Sor Ostlandet (NO03)
GDANSK IM LECHA WALESY airport	Pomorskie (PL63)
KRAKOW/BALICE airport	Malopolskie (PL21)
KATOWICE/PYRZOWICE airport	Slaskie (PL22)
POZNAN/LAWICA airport	Wielkopolskie (PL41)
RZESZOW/JASIONKA airport	Podkarpackie (PL82)
SZCZECIN/GOLENIOW airport	Zachodnipomorskie (PL42)
WROCLAW/STRACHOWICE airport	Dolnoslaskie (PL51)
LISBOA airport	Area Metropolitana de Lisboa (PT17)
BUCURESTI/HENRI COANDA airport	Bucuresti Ilfov (RO32)
GOTEBORG/LANDVETTER airport	Vastsverige (SE23)
STOCKHOLM/SKAVSTA airport	Stockholm (SE11)
MALMO airport	Sydsverige (SE22)
STOCKHOLM/ARLANDA airport	Stockholm (SE11)
LONDON LUTON airport	Bedfordshire and Hertfordshire (UKH2)
LONDON HEATHROW airport	Outer London West and North West (UKI7)
WARSZAWA/CHOPINA airport	Warszawski Stoleczny (PL91)

Tabulka 9 - Letiště a označení oblasti, pod kterou spadá dle NUTS2

Tabulka 10 obsahuje souhrnný přehled vstupních dat do kalibračního výpočtu v případě Gravitačního modelu 2.

Tabulka 10 - Parametry v modelu č. 2

Relace	celkem dousměrně (2018)	počet cestujících	Vařšava	počet cestujících	destinace	součin cestujících	Bi	Bj	součet B	HDP	HDP	součin HDP	vzdálenost	teoreticky	chyba
WARSAWACHOPINA airport - WIEN-SCHWECHAT airport	260667	16117195	26786296	4,31752E+14	151 149	300	145835,17	87149,58	12709473815	550	9,05412E+29	-9,05412E+29			
WARSAWACHOPINA airport - BRUSSELS airport	329330	16117195	24974286	4,02515E+14	151 205	356	145835,17	75668,36	11035108144	1146	1,81215E+30	-1,81215E+30			
WARSAWACHOPINA airport - CHARLEVOIXBRUSSELS SOUTH airport	136367	16117195		1,29208E+14	151 75	226	145835,17	30847,96	4498717491	1161	1,52517E+29	-1,52517E+29			
WARSAWACHOPINA airport - FRAHARUZYNE airport	233187	16117195	16145848	2,60228E+14	151 187	338	145835,17	78894,66	11213989564	520	5,12897E+29	-5,12897E+29			
WARSAWACHOPINA airport - FRANKFURT/MAIN airport	534045	16117195	69195995	1,11525E+15	151 158	308	145835,17	19444,21	28356512751	886	8,75668E+30	-8,75668E+30			
WARSAWACHOPINA airport - HAMBURG airport	111287	16117195	16437573	2,64928E+14	151 198	349	145835,17	111439,82	16251845094	753	1,13149E+30	-1,13149E+30			
WARSAWACHOPINA airport - DUESSELDORF airport	236886	16117195	23285060	3,7529E+14	151 127	278	145835,17	201892,67	29443051851	982	3,01652E+30	-3,01652E+30			
WARSAWACHOPINA airport - MUENCHEN airport	362445	16117195	45713834	7,36779E+14	151 179	330	145835,17	256209,19	37364310779	778	7,06785E+30	-7,06785E+30			
WARSAWACHOPINA airport - STUTTGART airport	89124	16117195	11431823	1,84249E+14	151 157	308	145835,17	199730,07	29127668713	918	1,51741E+30	-1,51741E+30			
WARSAWACHOPINA airport - BERLIN-TEGEL airport	109358	16117195	21834648	3,51913E+14	151 121	272	145835,17	136389,5	19890385919	523	9,95748E+29	-9,95748E+29			
WARSAWACHOPINA airport - KOBLENZANKASTRUP airport	262044	16117195	26820359	4,64499E+14	151 164	315	145835,17	93252,15	1339943148	667	1,32722E+30	-1,32722E+30			
WARSAWACHOPINA airport - LENNART MERI TALLINN airport	145261	16117195	2644799	4,26267E+13	151 78	229	145835,17	33329,39	4860597257	841	3,59028E+28	-3,59028E+28			
WARSAWACHOPINA airport - ATHINAELEFT HEROS VENIZELOS airport	102014	16117195	23849474	7,90577E+14	151 92	243	145835,17	108867,18	15584993363	1599	2,33215E+30	-2,33215E+30			
WARSAWACHOPINA airport - BARCELONAEL PRAT airport	249345	16117195	48051804	7,90577E+14	151 109	260	145835,17	249892,86	36443167720	1870	1,4008E+31	-1,4008E+31			
WARSAWACHOPINA airport - ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport	108674	16117195	56019628	9,02979E+14	151 125	276	145835,17	252201,56	36779857377	2272	2,08237E+31	-2,08237E+31			
WARSAWACHOPINA airport - HELSINKI/VANTAA airport	122496	16117195	20290661	3,27029E+14	151 144	295	145835,17	73749,65	10755292745	939	9,74306E+29	-9,74306E+29			
WARSAWACHOPINA airport - NICE-COTE D'AZUR airport	94227	16117195	13710888	2,20981E+14	151 95	246	145835,17	148294,75	21772425246	1380	1,64517E+30	-1,64517E+30			
WARSAWACHOPINA airport - PARIS-CHARLES DE GAULLE airport	572819	16117195	71356039	1,15008E+16	151 176	327	145835,17	672779,63	981149317714	1342	4,95172E+31	-4,95172E+31			
WARSAWACHOPINA airport - BUDAPEST/LISZT FERENC INTERNATIONAL airport	261726	16117195	14356780	2,31375E+14	151 139	290	145835,17	78070,86	11398477140	540	4,12533E+29	-4,12533E+29			
WARSAWACHOPINA airport - MILANOMALPENSA airport	137576	16117195	24004512	3,86885E+14	151 151	280	145835,17	394223,68	57491677391	1150	7,16215E+30	-7,16215E+30			
WARSAWACHOPINA airport - BERGAMO/CRIO AL SERIO airport	124134	16117195	12638177	2,03499E+14	151 129	280	145835,17	394223,68	57491677391	1093	3,58051E+30	-3,58051E+30			
WARSAWACHOPINA airport - ROMA/FIUMICINO airport	278699	16117195	4282938	6,90282E+14	151 112	263	145835,17	200652,29	29262160823	1326	7,04421E+30	-7,04421E+30			
WARSAWACHOPINA airport - VILNIUS INTL airport	254682	16117195	4227592	6,81369E+13	151 112	263	145835,17	29077,33	4240497364	397	3,01679E+28	-3,01679E+28			
WARSAWACHOPINA airport - RIGA airport	184200	16117195	6789197	1,0911E+14	151 66	217	145835,17	41030,4	5983675359	564	7,98976E+28	-7,98976E+28			
WARSAWACHOPINA airport - AMSTERDAMSCHIPHOL airport	484926	16117195	6880834	1,10901E+16	151 168	319	145835,17	148351,32	21634839972	1101	8,42885E+30	-8,42885E+30			
WARSAWACHOPINA airport - OSLOGARDERMOEN airport	202647	16117195	27130250	4,42099E+14	151 166	317	145835,17	63761,34	929845858	1063	1,38528E+30	-1,38528E+30			
WARSAWACHOPINA airport - SANDEFJORD/TORP airport	111249	16117195	2023182	3,2608E+13	151 95	246	145835,17	28453,05	4149455394	1028	3,42171E+28	-3,42171E+28			
WARSAWACHOPINA airport - GDANSK IM LECHA WALESY airport	289736	16117195	4827828	7,7811E+13	151 67	218	145835,17	49239,3	7180821666	297	3,61766E+28	-3,61766E+28			
WARSAWACHOPINA airport - KRAKOW/BALICE airport	397564	16117195	6678827	1,01672E+14	151 63	214	145835,17	68106,86	9932375036	246	5,6268E+28	-5,6268E+28			
WARSAWACHOPINA airport - KATOWICE/PIRZOWICE airport	144316	16117195	2833565	4,56691E+13	151 72	223	145835,17	102764,45	14986671036	229	3,49517E+28	-3,49517E+28			
WARSAWACHOPINA airport - POZNAN/LAWICA airport	184285	16117195	1244537	3,5532E+13	151 75	226	145835,17	81905,75	11944738975	282	3,49517E+28	-3,49517E+28			
WARSAWACHOPINA airport - RZESZOW/JASIONKA airport	228300	16117195	700416	1,14339E+13	151 48	199	145835,17	32713,42	4770767167	240	2,60521E+27	-2,60521E+27			
WARSAWACHOPINA airport - SZCZECIN/GOLENOW airport	232395	16117195	582629	9,39033E+12	151 58	209	145835,17	30767,9	4487041927	436	3,8399E+27	-3,8399E+27			
WARSAWACHOPINA airport - WROCLAW/STRACHOWICE airport	266644	16117195	2812243	4,33255E+13	151 76	227	145835,17	69323,77	10180843783	305	3,17258E+28	-3,17258E+28			
WARSAWACHOPINA airport - LISBOA airport	132946	16117195	2893288	4,66121E+14	151 100	251	145835,17	87894,59	12818122475	2750	4,12491E+30	-4,12491E+30			
WARSAWACHOPINA airport - BUCURESTI/HELEN COANDA airport	214000	16117195	13487396	2,177379E+14	151 147	286	145835,17	107988,21	15748478963	925	9,34657E+29	-9,34657E+29			
WARSAWACHOPINA airport - GOTEBORGLANDVETER airport	84904	16117195	6849988	1,10402E+14	151 120	271	145835,17	74339,5	10841313620	825	2,67598E+29	-2,67598E+29			
WARSAWACHOPINA airport - STOCKHOLM/SKAVSTA airport	88915	16117195	2124981	3,66993E+13	151 166	317	145835,17	117358,86	17115049299	779	1,50881E+29	-1,50881E+29			
WARSAWACHOPINA airport - MALMO airport	80939	16117195	2171942	3,50056E+13	151 104	255	145835,17	48002,4	7000438164	624	3,89931E+28	-3,89931E+28			
WARSAWACHOPINA airport - STOCKHOLM/ARLANDA airport	127252	16117195	26940777	4,3421E+14	151 166	317	145835,17	117358,86	17115049299	854	2,01785E+30	-2,01785E+30			
WARSAWACHOPINA airport - LONDON LUTON airport	487154	16117195	16400310	2,44421E+14	151 114	265	145835,17	65370,94	9533382148	1455	9,71978E+29	-9,71978E+29			
WARSAWACHOPINA airport - LONDON HEATHROW airport	501290	16117195	80029489	1,28985E+16	151 129	280	145835,17	81586,89	11899208906	1470	6,31679E+30	-6,31679E+30			



suma chyb	3,48709E+63
alfa	1
beta	1
gama	1
delta	1

Tabulka 11 - Součet chyb čtverců odchylek při počátečních hodnotách parametru 1

suma chyb	3,48709E+63						
alfa	1						
beta	1						
gama	1						
delta	1						

Parametry Řešitele

Nastavit cíl:

Na: ☐ Max ☒ Min ☐ Hodnota:

Na základě změny proměnných buněk:

Omezující podmínky:

☒ Nastavit proměnné bez omezujících podmínek jako nezáporné

Vyberte metodu řešení:

Metoda řešení

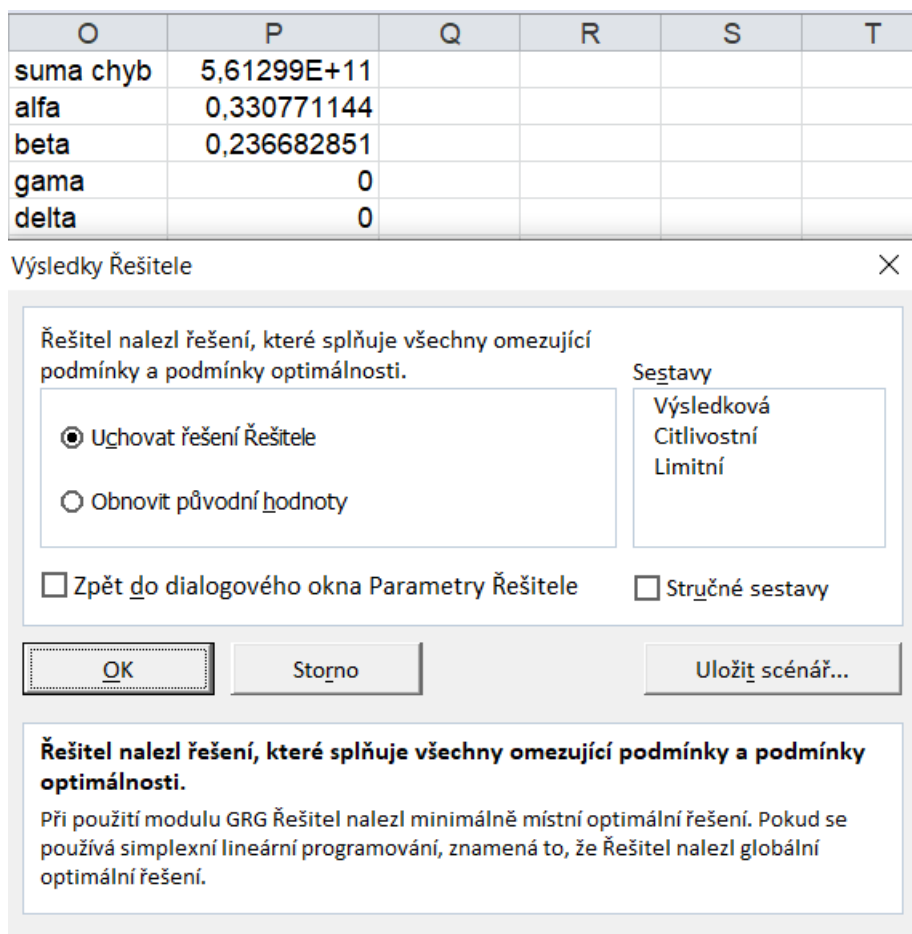
Modul GRG Nonlinear vyberte pro hladké nelineární problémy Řešitele. Modul LP Simplex zvolte pro lineární problémy Řešitele a modul Evolutionary pro nehladké problémy Řešitele.

Přidat  
Změnit  
Odstranit  
Vynulovat vše  
Načíst nebo uložit  
Možnosti

Nápověda **Řešit** Zavřít

Obrázek 22 - Nastavení parametrů Řešitele

*Zdroj: vlastní*



Obrázek 23 - Nalezení optimálních hodnot kalibračních konstant

Z optimálního řešení vyplývá, že výsledek nezávisí na parametrech HDP a vzdálenost (kalibrační konstanty gama a delta ukazují hodnotu 0, tzn. jakékoliv číslo na nultou dává jedna).

	počet cestujících Varšava	počet cestujících destinace	součin cestujících	B <sub>i</sub>	B <sub>j</sub>	součet B <sub>i</sub> HDP <sub>i</sub>	HDP <sub>j</sub>	součin HDP <sub>i</sub> vzdálenost	teoreticky
relace Ostrava	16117195	344344	5,54986E+12	151	74	225 145835,17	28170,77	4108289032	340 59178,23272

Tabulka 12 - Počet cestujících na relaci Varšava - Ostrava obousměrně

V tabulce 12 si označím cestující ve Varšavě jako  $A_i$ , cestující v Ostravě (v tabulce destinace) jako  $A_j$ . Poslední sloupec (teoreticky) představuje  $V_{ij}$ .

Na základě Gravitačního modelu 2 byla roční poptávka po relaci odhadnuta na cca 59 000 cestujících v obou směrech. Od prvního modelu se výsledek liší o cca 5 %, což je možno považovat za akceptovatelný rozdíl.

V přílohové části práce se nachází soubor v programu MS Excel, ve kterém je možno ověřit správnost výpočtu.

Relace	celkem obousměrně (2018)	počet cestujících	Varšava	počet cestujících	destinace	součin cestujících	BI	BI	součet B	HDP	HDP	součin HDP	vzdálenost	teoreticky	chyba
WARSZAWACHOPINA airport - WIEN-SCHWEGHAT airport	268667	16117195	2678296	4,31752E+14	151	149	300	145835,17	87149,58	127094,73	151	550	267427,0858	-6780,085813	
WARSZAWACHOPINA airport - BRUSSELS airport	329330	16117195	24974286	4,02515E+14	151	205	356	145835,17	75668,36	11035108,144	1146	272097,8343	57232,16573		
WARSZAWACHOPINA airport - CHARLEROIBRUSSELS SOUTH airport	135367	16117195	8016781	1,29208E+14	151	75	226	145835,17	30847,96	4498717,491	1161	167797,1028	-32,430,10283		
WARSZAWACHOPINA airport - PRAHARUZYNE airport	233187	16117195	16145848	2,60228E+14	151	187	338	145835,17	76894,96	11213989564	520	232666,1093	520,8907307		
WARSZAWACHOPINA airport - FRANKFURT MAIN airport	534045	16117195	69169995	1,11525E+15	151	158	309	145835,17	194442,21	28336512751	896	368609,3912	165435,6088		
WARSZAWACHOPINA airport - HAMBURG airport	111287	16117195	16437573	2,64928E+14	151	198	349	145835,17	111439,62	16291845094	753	235829,1236	-124542,1236		
WARSZAWACHOPINA airport - DUESSELDORF airport	235886	16117195	23265060	3,7529E+14	151	127	278	145835,17	201892,67	29443051951	982	250751,4617	-14665,46169		
WARSZAWACHOPINA airport - MÜNCHEN airport	362445	16117195	45713834	7,36279E+14	151	179	330	145835,17	256209,19	37364310779	778	326418,7964	36026,20362		
WARSZAWACHOPINA airport - ST UTTGART airport	89124	16117195	11431823	1,84249E+14	151	157	308	145835,17	199730,07	29127689713	918	203039,9993	-113915,9993		
WARSZAWACHOPINA airport - BERLIN-TEGEL airport	109358	16117195	21834648	3,51913E+14	151	121	272	145835,17	136389,5	19890385919	523	244209,1142	-134851,1142		
WARSZAWACHOPINA airport - KOBENHAWNKASTRUP airport	262044	16117195	28820059	4,64499E+14	151	164	315	145835,17	93252,15	1359443148	667	277154,8261	-151,10,82612		
WARSZAWACHOPINA airport - LENNART MERI TALLINN airport	145261	16117195	2644799	4,26297E+13	151	78	229	145835,17	33329,39	4860597257	841	116637,4826	28623,51738		
WARSZAWACHOPINA airport - ATHINAEILEFTHERIOS VENIZELOS airport	102014	16117195	23804874	3,8512E+14	151	92	243	145835,17	106967,18	15584993363	1599	2446977,5984	-142963,5984		
WARSZAWACHOPINA airport - BARCELONNEL PRAT airport	249345	16117195	49051804	7,90577E+14	151	109	260	145835,17	248982,86	36443167720	1870	315786,0206	-66441,02062		
WARSZAWACHOPINA airport - ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport	108674	16117195	56019628	9,02879E+14	151	125	276	145835,17	252201,56	36779857377	2272	334666,5565	-225992,5565		
WARSZAWACHOPINA airport - HELSINKIVANTAA airport	122496	16117195	20290661	3,27029E+14	151	144	295	145835,17	73749,65	10756292745	939	242980,0486	-120484,0486		
WARSZAWACHOPINA airport - NICE-COTE D'AZUR airport	94227	16117195	13710888	2,20981E+14	151	95	246	145835,17	149294,75	21772425246	1390	204452,3288	-110225,3288		
WARSZAWACHOPINA airport - PARIS-CHARLES DE GAULLE airport	572819	16117195	7136093	1,5008E+15	151	176	327	145835,17	672779,63	98114931714	1342	377400,1637	195418,8363		
WARSZAWACHOPINA airport - BUDAPESTLISZT FERENC INTERNATIONAL airport	267726	16117195	14355760	2,31375E+14	151	139	290	145835,17	78070,86	11385477140	540	215828,3522	-116142,2081		
WARSZAWACHOPINA airport - MILANOMALPENSA airport	137576	16117195	24004512	3,86885E+14	151	129	280	145835,17	394223,68	57491677391	1150	253718,2081	-116142,2081		
WARSZAWACHOPINA airport - BERGAMO/ORO AL SERIO airport	124134	16117195	12626177	2,03498E+14	151	129	280	145835,17	394223,68	57491677391	1093	205144,3392	-81010,33918		
WARSZAWACHOPINA airport - ROMA/FUMICINO airport	278899	16117195	42828838	6,90282E+14	151	112	263	145835,17	200652,29	29262160823	1326	302749,8115	-24650,81145		
WARSZAWACHOPINA airport - VILNIUS INTL airport	254662	16117195	4227592	6,81369E+13	151	112	263	145835,17	29077,33	4240497364	397	140749,1518	113912,8482		
WARSZAWACHOPINA airport - AMS TERMA/SCHIPHOL airport	164200	16117195	6769197	1,09191E+14	151	66	217	145835,17	148351,32	21634839972	564	15747,659	7052,340997		
WARSZAWACHOPINA airport - RIGA airport	494826	16117195	68808834	1,10901E+15	151	168	319	145835,17	148351,32	21634839972	1101	370709,9461	12421,64092		
WARSZAWACHOPINA airport - OSLO/GARDERMØEN airport	202847	16117195	27230250	4,42098E+14	151	166	317	145835,17	63761,34	9296845858	1063	273069,386	-70422,36596		
WARSZAWACHOPINA airport - SANDERFJORDTOR airport	111249	16117195	2023182	3,2608E+13	151	95	246	145835,17	28453,05	4149455384	1028	108570,3179	2678,682064		
WARSZAWACHOPINA airport - GDANSK IM LECZA WALESY airport	269736	16117195	4827828	7,7811E+13	151	67	218	145835,17	49239,3	7180821686	297	140678,637	12957,363		
WARSZAWACHOPINA airport - KRAKOW/BALICE airport	397564	16117195	6676827	1,07612E+14	151	63	214	145835,17	88106,86	9932375506	246	155920,5002	241643,4998		
WARSZAWACHOPINA airport - KATOWICE/PIRZOWICE airport	144316	16117195	2833665	4,56691E+13	151	72	223	145835,17	102764,45	14986671036	229	118650,2861	25736,71392		
WARSZAWACHOPINA airport - POZNAN/LAWICA airport	184285	16117195	2452817	3,95325E+13	151	75	226	145835,17	81905,75	11944738975	282	113411,56	70073,44005		
WARSZAWACHOPINA airport - RZESZOW/JASIONKA airport	220330	16117195	709416	1,14338E+13	151	48	199	145835,17	32713,42	477076167	240	73008,20774	147821,7923		
WARSZAWACHOPINA airport - SZCZECIN/GOLENIOW airport	232395	16117195	582829	9,38035E+12	151	58	209	145835,17	30767,9	4487041927	436	69203,41945	163191,5905		
WARSZAWACHOPINA airport - WROCŁAW/STRACHOWICE airport	266644	16117195	45325E+13	151	76	227	145835,17	69323,77	10109843783	305	118763,1616	147860,8384			
WARSZAWACHOPINA airport - LISBONA airport	132346	16117195	28926398	4,6325E+14	151	100	251	145835,17	87894,59	12818122475	2750	262689,793	-130023,793		
WARSZAWACHOPINA airport - BUCURESTI/HERI COANDA airport	214000	16117195	13487396	2,17379E+14	151	147	298	145835,17	107988,21	15748478963	925	212785,6875	1214,312262		
WARSZAWACHOPINA airport - GÖTEBORGLANDVETTER airport	84904	16117195	6849958	1,10402E+14	151	120	271	145835,17	74339,5	10841313620	825	168256,2754	-181381,27545		
WARSZAWACHOPINA airport - STOCZKOLM/MSKAWST A airport	89815	16117195	2214881	3,56935E+13	151	166	317	145835,17	117358,86	17115049299	779	118791,8126	-28576,81257		
WARSZAWACHOPINA airport - MALMO airport	80839	16117195	2171942	3,50086E+13	151	104	255	145835,17	48002,4	7000438164	624	112097,005	-31158,70048		
WARSZAWACHOPINA airport - STOCZKOLM/ARLANDA airport	127552	16117195	26940777	4,342E+14	151	166	317	145835,17	117358,86	17115049299	854	271447,8885	-144195,8865		
WARSZAWACHOPINA airport - LONDON LUTON airport	487154	16117195	16406310	2,6442E+14	151	114	265	145835,17	65370,94	9533382148	1455	22081,4208	265342,5792		
WARSZAWACHOPINA airport - LONDON HEATHROW airport	501290	16117195	80029489	1,2895E+15	151	129	280	145835,17	81586,69	11898208806	1470	377859,8729	123450,1271		

Taбуlka 13 - Porovnaní skutečného a teoretického počtu cestujících po kalibraci

## 6. Zhodnocení výsledků

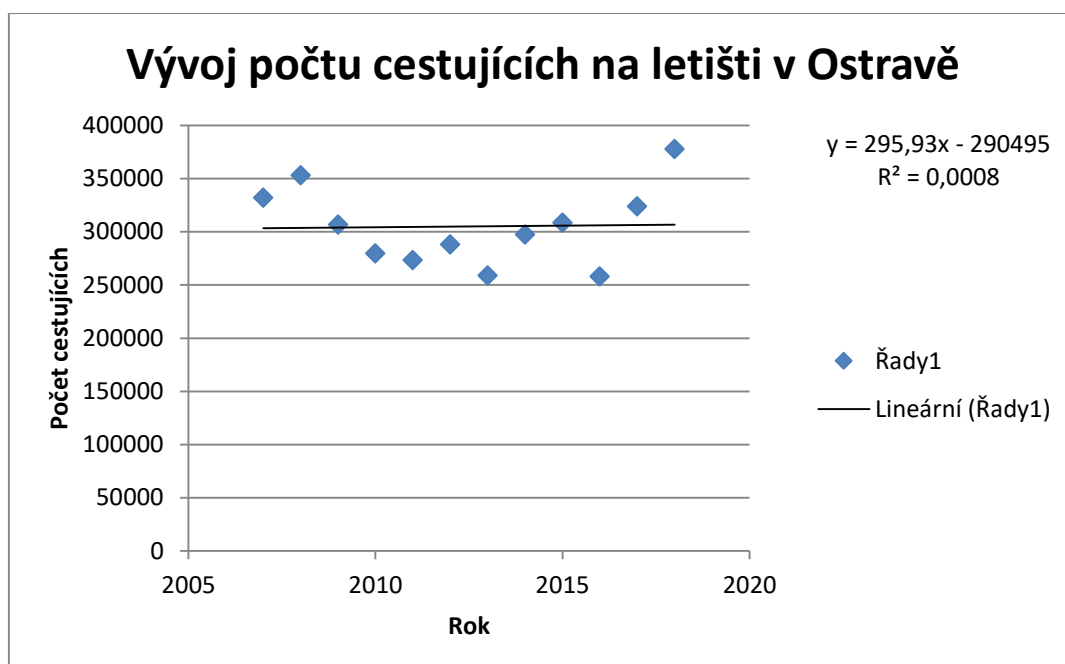
Odhad počtu cestujících pro pravidelnou leteckou linku provozovanou v relaci Varšava – Ostrava je komplikovanější zejména proto, že se jedná o nově zaváděnou linku, kde nejsou k dispozici přepravní data z minulosti. V souvislosti s aktuální pandemií koronaviru však lze očekávat, že počty cestujících budou nižší, související s možným strachem z cestování nebo vládními restrikcemi.

Společnost LOT prohlásila, že od 1. 9. 2020 spustí linku s frekvencí 10 letů týdně. Plánuje se létat s letadly Embraer 175 nebo Bombardier Dash Q400, které mají sedadlovou kapacitu 85, respektive 75 míst.

Pokud bych počítal s tím, že rozvržení cestujících bude přes rok rovnoměrné, tak by týdně přiletělo nebo odletělo cca 612 cestujících. Rovnoměrně rozloženi do všech 10 letadel dávají cca 61 cestujících / 1 letadlo. Tím pádem vychází tzv. „Load factor“ (obsazenost sedaček) cca 71 – 81 %.

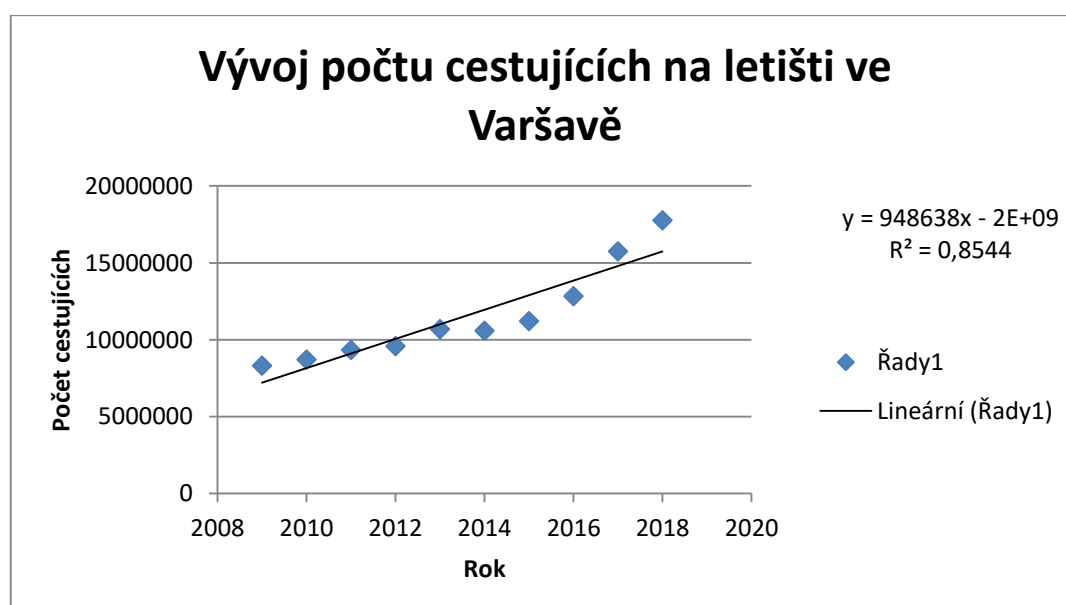
### 6.1. Vývoj počtu odbavených cestujících na letištích

Následující dva grafy uvádí historický vývoj počtu cestujících. Můžeme vidět značné rozdíly ve stálosti, zatímco na letišti v Ostravě počet cestujících připomíná spíše sinusoidu, tak ve Varšavě vidíme kontinuální roční nárůst počtu odbavených cestujících. Na relaci Ostrava – Varšava by se tedy dal očekávat kontinuální nárůst počtu cestujících.



Obrázek 24 - Časové znázornění počtu odbavených cestujících v Ostravě

Pro relaci Ostrava – Varšava by se tedy dal očekávat kontinuální nárůst počtu cestujících, ovšem s aktuální pandemií koronaviru, kdy jsou odstavené celé flotily leteckých společností, a kdy jsou velká letiště uzavřená, vyvstává nad tímto velký otazník. Nikdo totiž nyní nedokáže odhadnout, kdy se letecká doprava vrátí k rozsahu provozu, který panoval před pandemií a navíc, zda po letecké dopravě ze strany cestujících nastane přibližně stejná poptávka.



Obrázek 25 - Časové znázornění počtu odbavených cestujících v Ostravě

## Závěr

Různé vědecké instituce se snaží vytvářet prognózy v letecké dopravě pomocí gravitačních modelů. Jejich výsledky (např. v Číně) jsou docela přesné. To lze odůvodnit více důvody, např.:

- a) využití profesionálního matematického softwaru pro odhad poptávky,
- b) využití sofistikovanější metody samotného výpočtu (například u Čínského modelu zmiňované PPML),
- c) práce s aktuálními údaji zahrnutých ve specializovaných databázích, do kterých je však přístup velice nákladný.

V předložené bakalářské práci byl použit doplněk Řešitel v MS Excel, který dokáže optimalizovat hodnoty kalibračních konstant pomocí metody nejmenších čtverců. Rovněž byla použita databáze evropského statistického úřadu Eurostat, která je zdarma veřejně dostupná, avšak s nižší rychlostí aktualizace. Toto výše zmíněné může ovlivnit skutečné výsledky, které se získají až měřením v terénu.

Hlavním cílem bakalářské práce bylo otestovat, zda jsou gravitační modely pro zjišťování poptávky po letecké přepravě vůbec vhodné, a zda se pomocí nich dá odhadovat počet cestujících na jednotlivých linkách.

Jedno je jisté, a to, že výpočty jsou proveditelné. Otázkou ale je, do jaké míry jsou získané výsledky relevantní. V případě této práce by až čas a důsledný sběr přepravních údajů ukázal, zda realita potvrdí hodnoty poptávky predikované oběma gravitačními modely.

Závěrem však lze konstatovat, že hodnoty odhadnuté poptávky by mohly být za běžných tržních podmínek reálné, byť jejich průkaznost podložením reálnými daty nebyla možná, protože zahájení provozu linky bylo odloženo až na září 2020.

## Použitá literatura a zdroje

- [1] HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER. *Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. Brno: VUTIUM, 2000. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 80-214-1869-9.
- [2] Grosche, T.; Rothlauf, F.; Heinzl, A.: *Gravity models for airline passenger volume estimation*. In Journal of Air Transport Management, 2007(13), s. 175 - 183. ISSN 0969-6997
- [3] ONDRÁČKOVÁ, Jitka, Petr HOFHANSL, Zdeněk MELZER, Jiří DUFEK, Jan VOLEK, Jakub VALTA, Roman ČAMPULA a Marek TÖGEL. *Metodika pro tvorbu a hodnocení makroskopických dopravních modelů: minimální standardy návrhů modelů pro dopravní plánování*. Brno: Centrum dopravního výzkumu, 2017. ISBN 978-80-88074-52-6
- [4] Lorenz, F. *Metody pro tvorbu OD matic: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojí, Institut dopravy, 2011, 54 s. Vedoucí práce: Teichmann, D.
- [5] *Metodika pro tvorbu a hodnocení makroskopických dopravních modelů*. [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: <https://www.cdv.cz/file/metodika-pro-tvorbu-a-hodnoceni-makroskopickych-dopravnich-modelu/> [online].
- [6] *The Geography of Transport Systems FOURTH EDITION*, Jean-Paul Rodrigue (2017), New York: Routledge, 440 pages. ISBN 978-1138669574
- [7] Grosche, T.; Rothlauf, F.; Heinzl, A.: *Gravity models for airline passenger volume estimation*. In Journal of Air Transport Management, 2007(13), s. 175 - 183. ISSN 0969-6997
- [8] ŽIHLA, Zdeněk. *Provozování podniků letecké dopravy a letišť*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010. ISBN 978-80-7204-677-5.
- [9] Grosche, T.; Rothlauf, F.; Heinzl, A.: *Gravity models for airline passenger volume estimation*. In Journal of Air Transport Management, 2007(13), s. 175 - 183. ISSN 0969-6997

[10] Zhang, Y.; Lin, F.; Zhang, A.: *Gravity models in air transport research: A survey and an application*. In Handbook of International Trade and Transportation. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 679 s. ISBN 978-1-78536-614-7.

[11] *Hrubý domácí produkt (HDP) – Metodika*. [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: [https://www.czso.cz/csu/czso/hruby\\_domaci\\_produk\\_t\\_-hdp-](https://www.czso.cz/csu/czso/hruby_domaci_produk_t_-hdp-) [online].

[12] *Purchasing power adjusted GDP per capita*. [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/sdg\\_10\\_10](https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/sdg_10_10) [online].

[13] *Gross domestic product (GDP) at current market prices by NUTS 2 regions*. [cit. 2020-04-16]. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/eurostat/cache/RCI/myregion/#?reg=UKH2&ind=18-2\\_nama\\_10r\\_2gdp](https://ec.europa.eu/eurostat/cache/RCI/myregion/#?reg=UKH2&ind=18-2_nama_10r_2gdp) [online].

[14] *Air Service Forecasting - Do Your Math Right!* [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: [https://www.linkedin.com/pulse/air-service-forecasting-do-your-math-right-marc-gordien?trk=related\\_article\\_Air%20Service%20Forecasting%20-%20Do%20Your%20Math%20Right!\\_article-card\\_title](https://www.linkedin.com/pulse/air-service-forecasting-do-your-math-right-marc-gordien?trk=related_article_Air%20Service%20Forecasting%20-%20Do%20Your%20Math%20Right!_article-card_title) [online].

[15] *NUTS*. [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: <https://www.dotaceeu.cz/cs/Ostatni/Dulezite/Slovník-pojmu/N/NUTS> [online].

[16] *Liberalization of Air Transport Services and Passenger Traffic*, Piermartini, Rousová, 2008

[17] *Traffic Analyser*. [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://www.oag.com/traffic-analyser> [online].

[18] *MIDT - Top 5 Things You Should Know* [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://www.linkedin.com/pulse/midt-top-5-things-you-should-know-marc-gordien> [online].

[19] *Otevření linky do Varšavy odloženo kvůli koronaviru na 1. září 2020*. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <http://www.airport-ostrava.cz/cz/page-aktuality/article-611-otevreni-linky-do-varsavy-odloženo-kvuli-koronaviru-na-1-zari-2020/> [online].



[20] Dorda, Michal: *Metody prognózování v dopravě*. Přednáška z předmětu *Metody dopravního prognózování*, VŠB – TU Ostrava.

## Seznam obrázků a tabulek

Obrázek 1 - Podmínky prostorové interakce .....	14
Obrázek 2 - Matice prostorové interakce .....	14
Obrázek 3 - Vztah mezi vzdáleností a interakcemi .....	16
Obrázek 4 - Modelování prostorové interakce různými způsoby .....	17
Obrázek 5 - po kliknutí na OK se mi Řešitel objeví na kartě Analýza v záložce Data.....	19
Obrázek 6 - Dialogové okno Řešitele v MS Excel 2007 .....	19
Obrázek 7 - Dialogové okno Řešitele v MS Excel 2010 .....	20
Obrázek 8 - Závislost koeficientů na prostorové interakci .....	21
Obrázek 9 - Vývoj koeficientu beta.....	22
Obrázek 10 - Popis proměnných v gravitačním modelu.....	27
Obrázek 11 - Doplnující proměnné charakterizující rozšířený model .....	28
Obrázek 12 - Proměnné v gravitačním modelu .....	29
Obrázek 13 - Závislost počtu cestujících na letišti Ostrava na HDP.....	32
Obrázek 14 - Závislost počtu cestujících na letišti Ostrava na míře nezaměstnanosti.....	32
Obrázek 15 - Mapa rozdělení světa do sektorů.....	33
Obrázek 16 - Databáze Eurostat .....	36
Obrázek 17 - Výřez z databáze Eurostat o počtu cestujících na dané relaci .....	37
Obrázek 18 - příklad databáze o počtu cestujících na daném letišti.....	38
Obrázek 19 - Statistika Moravskoslezského kraje, který má u EU dle NUTS označení CZ080 .....	40
Obrázek 20 - Nastavení parametrů Řešitele pro kalibrační výpočet.....	50
Obrázek 21 - Nalezení optimálních hodnot kalibračních konstant .....	51
Obrázek 22 - Nastavení parametrů Řešitele.....	57
Obrázek 23 - Nalezení optimálních hodnot kalibračních konstant .....	58
Obrázek 24 - Časové znázornění počtu odbavených cestujících v Ostravě.....	61
Obrázek 25 - Časové znázornění počtu odbavených cestujících v Ostravě.....	61
Tabulka 1 - Přehledová tabulka studií .....	35
Tabulka 2 - Počty cestujících přepravených na pravidelných linkách z letiště Varšava za rok 2018 .....	45
Tabulka 3 - Počty cestujících odbavených na letištích mimo letiště Varšava.....	46
Tabulka 4 - Jednosměrné relace pro výpočet modelu.....	47
Tabulka 5 - Porovnání skutečného a teoretického toku cestujících před kalibrací.....	49
Tabulka 6 - Součet chyb čtverců odchylek při počátečních hodnotách parametru 1 .....	50
Tabulka 7 - Porovnání skutečného a teoretického počtu cestujících po kalibraci .....	52
Tabulka 8 - Očekávaný počet cestujících na relaci Varšava - Ostrava a zpět s využitím Gravitačního modelu 1 .....	53
Tabulka 9 - Letiště a označení oblasti, pod kterou spadá dle NUTS2 .....	55
Tabulka 10 - Parametry v modelu č. 2 .....	56

Tabulka 11 - Součet chyb čtverců odchylek při počátečních hodnotách parametru 1 .....	57
Tabulka 12 - Počet cestujících na relaci Varšava - Ostrava obousměrně .....	58
Tabulka 13 - Porovnání skutečného a teoretického počtu cestujících po kalibraci .....	59